UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

SAULO AUGUSTO RIBEIRO PIERETI

**Estimação de Estado em Sistemas Elétricos de Potência:
Composição de Erros de Medidas**

São Carlos
2011

SAULO AUGUSTO RIBEIRO PIERETI

**Estimação de Estado em Sistemas Elétricos de Potência:
Composição de Erros de Medidas**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências, Programa de Engenharia Elétrica

Área de Concentração: Sistemas Elétricos de Potência

Orientador: Prof. Dr. Newton Geraldo Bretas

Co-Orientador: Prof. Dr. João Bosco Augusto London Junior

São Carlos
2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

P615e Piereti, Saulo Augusto Ribeiro.
Estimação de estado em sistemas elétricos de potência
: composição de erros de medidas / Saulo Augusto Ribeiro
Piereti ; orientador Newton Geraldo Bretas; co-orientador
João Bosco Augusto London Junior. São Carlos, 2011.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica e Área de Concentração em Sistemas
Elétricos de Potência) -- Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

1. Sistemas elétricos de potência. 2. Estimação de
estado. 3. Projeção ortogonal. 4. Análise de erro
grosseiro. 5. Recuperação de erros. 6. Índice de
inovação. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **SAULO AUGUSTO RIBEIRO PIERETI**

Título da tese: **Estimação de estado em sistemas elétricos de potência: composição de erros de medidas.**

Data da defesa: 10/08/2011:

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Titular **Newton Geraldo Bretas (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Prof. Titular **Djalma Mosqueira Falcão**
(Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ)

APROVADO

Prof. Dr. **Glauco Nery Taranto**
(Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ)

APROVADO

Prof. Dr. **André Christovão Pio Martins**
(Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"/UNESP/campus de Bauru)

APROVADO

Prof. Dr. **Flávio Henrique Vasconcelos**
(Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG)

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica:
Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo Cesar Lima Segantine**

Dedico este trabalho à minha esposa Patricia Piereti, com amor e gratidão por sua paciência e compreensão, a toda minha família e a memória de Nelson Piereti.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Newton Geraldo Bretas, que nos anos de convivência, muito me ensinou, contribuindo para meu crescimento científico e intelectual.

Ao professor Dr. João Bosco Augusto London Junior, pela co-orientação, e apoio a este projeto de pesquisa.

A família de Sonia Etlinger, pela amizade.

Aos professores e colegas do LACO (Laboratório de Analise Computacional em Sistemas Elétricos de Potência), pelo companheirismo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio financeiro.

“Faça as coisas o mais simples que você puder, porém, não as mais simples.”

Albert Einstein

RESUMO

PIERETI, S. A. R. **Estimação de Estado em Sistemas Elétricos de Potência: Composição de Erros de Medidas**. 2011. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

Bretas et al. (2009) prova matematicamente, e através da interpretação geométrica, que o erro de medida se divide em componentes detectáveis e não-detectáveis. Demonstra ainda que as metodologias até então utilizadas, para o processamento de Erros Grosseiros (EGs), consideram apenas a componente detectável do erro. Assim, dependendo da amplitude das componentes do erro, essas metodologias podem falhar.

Face ao exposto, neste trabalho é proposto uma nova metodologia para processar as medidas portadoras de EGs. Essa proposição será obtida decompondo o erro da medida em duas componentes: a primeira, é ortogonal ao espaço da imagem da matriz jacobiana cuja amplitude é igual ao resíduo da medida, a outra, pertence ao espaço da imagem da matriz jacobiana e que, por conseguinte, não contribui para o resíduo da medida. A relação entre a norma dessas componentes, aqui denominado Índice de Inovação (I), prevê uma nova informação, isto é, informação não contida nas outras medidas. Usando o I , calcula-se um valor limiar (TV) para cada medida, esse limiar será utilizado para inferir se a medida é ou não suspeita de possuir EG. Em seguida, com as medidas suspeitas em mãos, desenvolve-se um índice de filtragem (F) que será utilizado para identificar qual daquelas medidas tem maior probabilidade de possuir EG.

Os sistemas de 14 e 30 barras do IEEE, e o sistema sul reduzido do Brasil de 45 barras, serão utilizados para mostrar a eficiência da metodologia proposta.

Os testes realizados com os sistemas acima são:

- i) O teste de nível de detecção de EG, que consisti em encontrar o valor mínimo de EG que seja detectado usando o TV da medida;

- ii) O teste onde é adicionado EG de 10 desvios padrões em cada medida, uma por vez, nesse teste o FI da medida é usado para identificar qual medida possui o erro, em seguida à medida com erro é corrigida através do erro normalizado composto (ENC);
- iii) O teste de EG simples.

Palavras-chave: Sistemas Elétricos de Potência, Estimação de Estado, Projeção Ortogonal, Análise de Erro Grosseiro, Recuperação de Erros e Índice de Inovação.

ABSTRACT

PIERETI, S. A. R. **State Estimation in Power Systems: Measurement Error Composition**. 2011. Thesis – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

Bretas et al. (2009) has proved, using geometric background, that the measurement error can be decomposed into two components the detectable and the undetectable component respectively. Bretas has also demonstrated that the current methodologies used for processing of gross errors (GE), consider only the detectable component of the error. Thus, depending on the magnitude of the undetectable error components, such methods may fail.

Given the above explanation, in this work a new methodology for processing the measurements with GE is proposed. This proposition is obtained by decomposing each measurement error into two components: the first, orthogonal to the Jacobian range space, whose magnitude is equal to the measurement residual and the other contained in that space, which does not contribute to the measurement residual. The ratio between the norms of those components was proposed as the measurement Innovation Index (I) which provides the new information a measurement contains regarding the other measurements. Using the I , a threshold value (TV) for each measurement is computed so that one can declare a measurement suspicious of having a GE. Then a filtering index (F) is proposed to filter up, from the suspicious measurements, the one that has more chances of containing a GE.

The IEEE-14 bus system, IEEE-30 bus system, and reduced 45-bus power system of south of Brazil, will be used to demonstrate the accuracy and efficiency of the proposed methodology.

Tests conducted with the above systems were:

- i) The level test for GE detection, which consists in finding the minimum GE value in order it can be detected using the measurement TV ;

- ii) The test where GE of 10 standard deviations is added to each measurement, once at a time, and using the measurement *FI* to identify which measurement has the error and then using the composed measurement error (*CNE*) to correct measurement value;
- iii) The GE simple test.

Keywords: Power Systems, State Estimation, Orthogonal Projections, Gross Errors Analysis, Recovering Errors and Innovation Index.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 2.1:	Função densidade de probabilidade: distribuição χ^2 (ABUR e EXPÓSITO, 2004)	26
Figura 2.2:	Sistema elétrico de potência de 3 barras	27
Figura 2.3:	Modelo unificado do sistema elétrico ($t=ae^{j\varphi}$)	34
Figura 2.4:	Estrutura da matriz Jacobiana.....	36
Figura 3.1:	Interpretação Geométrica.....	41
Figura 3.2:	Sistema de 2 Barras.....	44
Figura 3.3:	Exemplo de EG, em medidas com alto UI	45
Figura 3.4:	Exemplo de EG, em medidas com baixo UI	45
Figura 3.5:	Forma gráfica de $f(X)$ com $\mu_1 = \mu_2 = 0$, $\sigma_1 = \sigma_2 = 0.003$ e $\rho = 0.7$	53
Figura 3.6:	Vista de corte de $f(X)$ em relação ao plano X_1 e X_2 da Figura (3.5) ..	54
Figura 3.7:	Forma gráfica de $f(X)$ com $\mu_1 = \mu_2 = 0$, $\sigma_1 = \sigma_2 = 0.003$ e $\rho = 0.0$	55
Figura 3.8:	Vista de corte de $f(X)$ em relação ao plano X_1 e X_2 da Figura (3.7)...	53
Figura 3.9:	Sistema Elétrico de Potência de 6 barras	59
Figura 4.1:	Sistema Elétrico de Potência de 14 barras do IEEE	78
Figura 4.2:	Sistema Elétrico de Potência de 30 barras do IEEE	94
Figura 4.3:	Sistema Elétrico de Potência sul reduzido do Brasil de 45 barras	105

LISTAS DE TABELAS

Tabela 2.1:	Dados do sistema da Figura 2.2.....	26
Tabela 2.2:	Estados Estimados do SEP da Figura 2.2.....	27
Tabela 2.3:	Medidas do SEP da Figura 2.2.....	27
Tabela 2.4:	Estados Estimados do SEP da Figura 2.2.....	28
Tabela 2.5:	Medidas do SEP da Figura 2.2.....	28
Tabela 2.6:	Resíduos Normalizado das medidas do SEP da Figura 2.2, com EG na medida Ia:2	31
Tabela 2.7:	Resíduos Normalizado das medidas do SEP da Figura 2.2, após eliminar a medida Ia:2.....	32
Tabela 2.8:	Estados Estimados do SEP da Figura 2.2, após eliminar a medida Ia:2.....	32
Tabela 2.9:	Resíduos Normalizado das medidas do SEP da Figura 2.2, com EG na medida Fa:1-3.....	32
Tabela 3.1:	Sistema de 6 barras: Valores das medidas e de seus desvios padrões	60
Tabela 3.2:	Sistema de 6 barras, Cenário 1: Valor e desvio padrão das medidas ..	61
Tabela 3.3:	Sistema de 6 barras, Cenário 1: Variáveis de estados estimadas.....	61
Tabela 3.4:	Sistema de 6 barras, Cenário 1: Valor do índice <i>II</i> e do <i>ENC</i>	62
Tabela 3.5:	Sistema de 6 barras, Cenário 1: Valor do <i>II</i> , <i>ENC</i> , <i>TV</i> e <i>FI</i> das medidas suspeitas de possuir EG.....	63
Tabela 3.6:	Sistema de 6 barras, Cenário 1: Nível de detecção de EG de cada medida	62
Tabela 3.7:	Sistema de 6 barras, Cenário 1: EG de 10σ em cada medida	65
Tabela 3.8:	Sistema de 6 barras, Cenário 1: EG simples de 14σ na medida Fr:5-6	66
Tabela 3.9:	Sistema de 6 barras, Cenário 1: EG simples de -11σ na medida Fa:2-3	67
Tabela 3.10:	Sistema de 6 barras, Cenário 1: EG simples de -13σ na medida Ia:1..	67

Tabela 3.11: Sistema de 6 barras, Cenário 2: Valor e desvio padrão das medidas ..	68
Tabela 3.12: Sistema de 6 barras, Cenário 2: Variáveis de estados estimadas.....	68
Tabela 3.13: Sistema de 6 barras, Cenário 2: Nível de detecção de EG de cada medida	69
Tabela 3.14: Sistema de 6 barras, Cenário 2: EG de 10σ em cada medida	70
Tabela 3.15: Sistema de 6 barras, Cenário 2: EG simples de 22σ na medida Ia:5...	71
Tabela 3.16: Sistema de 6 barras, Cenário 2: EG simples de -14σ na medida Fr:2-1	72
Tabela 3.17: Sistema de 6 barras, Cenário 3: Valor e desvio padrão das medidas ..	72
Tabela 3.18: Sistema de 6 barras, Cenário 3: Variáveis de estados estimadas.....	73
Tabela 3.19: Sistema de 6 barras, Cenário 3: Nível de detecção de EG de cada medida	73
Tabela 3.20: Sistema de 6 barras, Cenário 3: EG de 10σ em cada medida	75
Tabela 3.21: Sistema de 6 barras, Cenário 3: EG simples de -14σ na medida Ia:2..	76
Tabela 4.1: Sistema de 14 barras do IEEE, Cenário 1: Valor e desvio padrão das medidas	79
Tabela 4.2: Sistema de 14 barras do IEEE, Cenário 1: Variáveis de estados estimadas	80
Tabela 4.3: Sistema de 14 barras do IEEE, Cenário 1: Nível de detecção de EG de cada medida	81
Tabela 4.4: Sistema de 14 barras do IEEE, Cenário 1: EG de 10σ em cada medida	83
Tabela 4.5: Sistema de 14 barras do IEEE, Cenário 1: EG simples de -7σ na medida Fa:5-1	85
Tabela 4.6: Sistema de 14 barras do IEEE, Cenário 1: EG simples de -8σ na medida Fa:13-12.....	86
Tabela 4.7: Sistema de 14 barras do IEEE, Cenário 2: Valor e desvio padrão das medidas	87
Tabela 4.8: Sistema de 14 barras do IEEE, Cenário 2: Variáveis de estados estimadas	88
Tabela 4.9: Sistema de 14 barras do IEEE, Cenário 2: Nível de detecção de EG de cada medida	88

Tabela 4.10: Sistema de 14 barras do IEEE, Cenário 2: EG de 10σ em cada medida	90
Tabela 4.11: Sistema de 14 barras do IEEE, Cenário 2: EG simples de 5σ na medida Ir:2	92
Tabela 4.12: Sistema de 14 barras do IEEE, Cenário 2: EG simples de -12σ na medida Ia:2	92
Tabela 4.13: Sistema de 14 barras do IEEE, Cenário 2: EG simples de -18σ na medida Ia:2	93
Tabela 4.14: Sistema de 30 barras do IEEE, Cenário 1: Valor e desvio padrão das medidas	95
Tabela 4.15: Sistema de 30 barras do IEEE, Cenário 1: Variáveis de estados estimadas	96
Tabela 4.16: Sistema de 30 barras do IEEE, Cenário 1: Nível de detecção de EG de cada medida	97
Tabela 4.17: Sistema de 30 barras do IEEE, Cenário 1: EG de 10σ em cada medida	100
Tabela 4.18: Sistema de 30 barras do IEEE, Cenário 1: EG simples de 7σ na medida Fa:19-18.....	104
Tabela 4.19: Sistema de 30 barras do IEEE, Cenário 1: EG simples de -13σ na medida Fr:7-6.....	104
Tabela 4.20: Sistema sul reduzido do Brasil de 45 barras, Cenário 1: Valor e desvio padrão das medidas	106
Tabela 4.21: Sistema sul reduzido do Brasil de 45 barras , Cenário 1: Variáveis de estados estimadas	109
Tabela 4.22: Sistema sul reduzido do Brasil de 45 barras, Cenário 1: Nível de detecção de EG de cada medida.....	110
Tabela 4.23: Sistema sul reduzido do Brasil de 45 barras, Cenário 1: EG de 10σ em cada medida	116

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EC	Erro Composto
EE	Estimador de Estado
EG	Erro Grosseiro
ENC	Erro Normalizado Composto
FI	Filter Index: Índice de Filtragem
II	Índice de Inovação
NRG	Nível de Redundância Global
RG	Ruído Gaussiano
RN	Resíduo Normalizado
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SEP	Sistemas Elétricos de Potência
TV	Threshold Value: Valor Limite
UI	Índice de não Detecção de Erro
WLAV	Weighted Least Absolute Value
WLS	Weighted Least Squares

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Proposição	3
1.2	Organização do trabalho	4
2	Estimação de estado em sistemas elétricos de potência	5
2.1	Etapas envolvidas no processo de estimação de estado em SEP	6
2.2	Formulação clássica do estimador de estado WLS	12
2.2.1	Algoritmo do estimador de estado WLS	16
2.2.2	Fluxograma do algoritmo do estimador de estado WLS	17
2.3	Processamento de Erros Grosseiros segundo métodos clássicos	17
2.3.1	Propriedades dos resíduos das medidas	19
2.3.2	Classificação das medidas	21
2.3.3	Deteção de erros grosseiros: teste do índice $J(x)$	22
2.3.4	Deteção de erros grosseiros: resíduo normalizado	28
2.3.5	Identificação de erros grosseiros: resíduo normalizado	30
2.3.6	Vantagens e limitações do teste do máximo resíduo normalizado	33
2.4	Equações do fluxo de carga: matriz jacobiana	34
3	Metodologia geométrica para o EE: processamento de EGs	39
3.1	Medidas com alto índice de não detectabilidade de erro	39
3.2	Índice de não detectabilidade de erros	40
3.3	Conceito da inovação e índice de inovação	46
3.4	Proposição: novo teste de detecção e identificação de erros grosseiros	48
3.4.1	Algoritmo do novo teste	57
3.4.2	Fluxograma do algoritmo do novo teste	58
3.4.3	Exemplos numéricos	58
4	Testes e Análise de Resultados	77
4.1	Simulações com sistema de 14 barras do IEEE	78
4.1.1	Teste 1 do Cenário 1: Nível de detecção de EG	80
4.1.2	Teste 2 do Cenário 1: Adiciona-se EG de 10σ na medida	82
4.1.3	Teste 3 do Cenário 1: EG simples	84

4.1.4	Teste 1 do Cenário 2: Nível de detecção de EG	88
4.1.5	Teste 2 do Cenário 2: Adiciona-se EG de 10σ na medida	90
4.1.6	Teste 3 do Cenário 2: EG simples	92
4.2	Simulações com sistema de 30 barras do IEEE	93
4.2.1	Teste 1 do Cenário 1: Nível de detecção de EG	97
4.2.2	Teste 2 do Cenário 1: Adiciona-se EG de 10σ na medida	100
4.2.3	Teste 3 do Cenário 1: EG simples	103
4.3	Simulações com o sistema sul reduzido do Brasil de 45 barras	105
4.3.1	Teste 1 do Cenário 1: Nível de detecção de EG	110
4.3.2	Teste 2 do Cenário 1: Adiciona-se EG de 10σ na medida	116
5	Conclusões	123
5.1	Conclusões dos testes realizados	125
5.1.1	Teste de Nível de Detecção Mínimo	125
5.1.2	Teste onde se adiciona EG de 10 desvios padrões na medida	126
5.1.3	Teste de EG simples	126
5.2	Publicações do autor durante o Doutorado	127
5.2.1	Artigos publicados provenientes da Tese	127
5.2.2	Artigos publicados referentes à EE em SEP	127
5.3	Trabalhos futuros	128
6	Referências Bibliográficas	129

Capítulo 1

Introdução

A operação em tempo real dos Sistemas Elétricos de Potência (SEP) é de fundamental importância para o suprimento de energia elétrica de forma contínua, segura, dentro de padrões de qualidade e com custo reduzido.

Dentre as informações necessárias para operação em tempo real dos SEP, destacam-se as variáveis de estado do SEP, ou seja, as tensões complexas nodais. Tais informações são obtidas através dos sistemas de tele-medição, isto é, medições realizadas à distância, que estão sujeitas a uma série de erros, tais como: erros nos canais de comunicação, nos instrumentos de medição, nos transformadores de medição, etc. Assim, para a obtenção de um banco de dados confiável para operação em tempo real, é necessário que as medidas provenientes das tele-medições sejam filtradas. O aplicativo utilizado nos centros de operação, para realizar essa filtragem, é o Estimador de Estado (EE).

O EE tem por objetivo a obtenção das variáveis de estado de um SEP através do processamento de informações obtidas em tempo real (medidas analógicas¹, lógicas², virtuais³, etc.) e de informações estáticas, disponíveis nos bancos de dados das companhias de energia elétrica (os parâmetros do sistema⁴).

A eficiência do EE depende da qualidade das informações que lhe são fornecidas, uma vez que, erros nessas informações podem levar o processo de estimação a valores estimados muito distantes dos valores “verdadeiros”, ou, até mesmo, a não convergência do processo de estimação de estado.

¹ São aquelas realizadas continuamente e usualmente se constituem de fluxo de potência ativa e reativa nas linhas, injeção de potência ativa e reativa e algumas magnitudes de tensão nas barras.

² Consistem em estados (aberto ou fechado), de dispositivos seccionadores (chaves e disjuntores).

³ São medidas de injeção zero, em barras passivas do sistema.

⁴ Impedância de linhas de transmissão e posição de taps de transformadores, etc.

As medidas fornecidas ao EE estão sujeitas, em geral, a três tipos de erros: erros nas medidas analógicas (Erros Grosseiros (EGs)); os erros topológicos, devido a informações erradas quanto aos estados de dispositivos seccionadores; e erros de parâmetros, causados por informações erradas de algum parâmetro do SEP.

Haja vista os ruídos presentes nas medidas analógicas e a possibilidade destas medidas estarem com EGs, o processo de EE permite a obtenção das variáveis de estado desconhecidas, através de um conjunto de medidas redundantes e não exatas. Pode-se dizer então que o problema de estimação consiste em encontrar uma forma de atingir a melhor estimativa das variáveis de estado desconhecidas. Para isto existem muitos métodos estatísticos, mas o que vem sendo mais utilizado em SEP é o dos mínimos quadrados ponderados (WLS, do inglês *Weighted Least Squares*) (SCHWEPPE, F.C., 1970). Isto em razão da simplicidade da formulação do método, bem como da facilidade na sua implantação computacional. A formulação completa do EE WLS será descrita no Capítulo 2.

Para tornar o EE WLS robusto para processamento de EGs, isto é, para detectar, identificar e eliminar medidas com EGs, utiliza-se este estimador em conjunto com o teste do maior resíduo normalizado.

O EE WLS associado ao teste do maior resíduo normalizado apresenta desempenho satisfatório na presença de EG simples⁵, no entanto não permite a identificação de EGs múltiplos⁶ interativos, especialmente quando os erros são conformativos e/ou ocorrem em medidas conhecidas como medidas ponto de alavancamento (CHENIAE, M. G. et al., 1996), que são medidas altamente influentes que “atraem” a solução da estimação de estado (MILI, L. et al., 1996; CELIK, M. K.; ABUR, A., 1992).

Com o objetivo de obter-se uma boa estimativa, mesmo na presença de EGs múltiplos, foi desenvolvido e aplicado em SEP o método do Mínimo Valor Absoluto Ponderado (Weighted Least Absolute Value - WLAV) (IRVING et al., 1978), que se mostra mais robusto que o WLS associado ao teste do maior resíduo normalizado na presença de EGs simples e múltiplos. Entretanto, na ocorrência de EGs em medidas ponto de alavancamento, o método WLAV não apresenta bom desempenho.

⁵ Erro grosseiro simples: Quando apenas uma medida analógica possui EG.

⁶ Erro grosseiro múltiplo: Quando mais de uma medida analógica possui erro.

Desta forma, tem-se que o estimador de estado WLAV perde a robustez na presença de medidas ponto de alavancamento, requerendo então buscar-se outro caminho, para contornar o problema. Em Mili (1991) foi proposto o Estimador de Mínima Mediana do Resíduo ao Quadrado (Least Median of Squares - LMS) para SEP. Tal estimador, no entanto, requer uma busca combinatória, tornando-se inviável para aplicação em tempo real (FALCÃO; ARIAS, 1994; MONTICELLI, 2000).

Bretas et al. (2009) prova matematicamente, e através da interpretação geométrica, que o erro de medida se divide em componentes detectáveis e não-detectáveis. Mostra ainda que as metodologias até então utilizadas, para processamento de EGs, consideram apenas a componente detectável do erro. Assim, dependendo da amplitude das componentes do erro, essas metodologias podem falhar, tendo em vista que em muitas situações a componente não-detectável é muito maior que a detectável.

Diante do mencionado, faz-se necessário o desenvolvimento de uma nova metodologia para detecção, identificação e correção de medidas portadoras de EGs, a partir do EE WLS, tendo em vista ser este o estimador mais utilizado em SEP.

1.1 Proposição

Neste trabalho, serão utilizados de fundamentos geométricos, como os utilizados em Bretas (1996), Bretas et al. (2009) e Benedito (2011), para desenvolver uma ferramenta computacional que detecte e identifique medidas portadoras de EGs, incluindo as que “mascaram” os seus erros. As medidas que mascaram erros são as medidas com a componente não-detectável do erro maior que a componente detectável.

A proposição acima será obtida decompondo-se o erro da medida em duas componentes: a componente “*detectável*”, que é ortogonal ao espaço da imagem da matriz jacobiana do estimador WLS cuja amplitude é igual ao resíduo da medida (BRETAS, 1996 e BRETAS et al., 2009); e a componente “*não-detectável*”, que pertence ao espaço da imagem da matriz jacobiana do estimador WLS e que, por conseguinte, não contribui para o resíduo da medida. A relação entre a norma dessas componentes, aqui denominado Índice de Inovação (I), prevê uma nova

informação, isto é, informação não contida nas outras medidas. Além disso, com base no II , propõe-se uma técnica computacional para calcular o erro da medida, o qual não se reflete no seu resíduo, denominado “*erro mascarado*”. Usando o II , calcula-se um valor limiar para cada medida que será utilizado para inferir se a medida é ou não suspeita de possuir EG. Em seguida, com as medidas suspeitas em mãos, desenvolve-se um índice de filtragem, que será utilizado para identificar qual daquelas medidas tem maior probabilidade de possuir EG.

Como consequência natural, a metodologia proposta permite então a composição do erro total (*componentes detectáveis e não-detectáveis*) de cada medida.

Para mostrar a eficiência da proposta, utilizar-se-ão os sistemas teste de 14 e 30 barras do IEEE, assim como o sistema sul reduzido do Brasil de 45 barras.

1.2 Organização do trabalho

O capítulo 2 apresenta uma sucinta revisão bibliográfica de todo o processo de EE. A formulação do EE WLS e as principais técnicas para detecção e identificação de EGs são apresentadas no mesmo capítulo. Ainda no capítulo 2, são apresentadas as equações de fluxo de carga, que são também utilizadas no processo de EE. Os conceitos de composição geométrica dos erros das medidas e de inovação são apresentados no capítulo 3. Ainda nesse capítulo, são apresentados o algoritmo proposto para detectar e identificar EGs e exemplos numéricos da sua aplicação. O capítulo 4 apresenta testes com os sistemas teste de 14 e 30 barras do IEEE e com o sistema sul reduzido do Brasil de 45 barras, avaliando a eficiência do algoritmo proposto no processo de EE em SEP. As conclusões e as perspectivas de pesquisas futuras estão apresentadas no capítulo 5.

Capítulo 2

Estimação de estado em sistemas elétricos de potência

Conforme dito no capítulo 1, a estimação de estado em SEP consiste na obtenção, em tempo real, das variáveis de estado de um SEP (tensões complexas nas barras do sistema), através de um conjunto redundante de medidas analógicas com ruído.

Em razão de ser de fundamental importância para a realização das funções relacionadas à segurança da operação dos SEP, diversas pesquisas têm sido realizadas, ao longo das últimas décadas, visando aumentar a confiabilidade do processo de estimação de estado em SEP.

A partir dos primeiros trabalhos publicados por Schweppe, no final da década de 60 e início de 70 (SCHWEPPE; WILDES; RON, 1968; SCHWEPPE; WILDES; 1970; SCHWEPPE; RON, 1970; SCHWEPPE, 1970), os quais delinearam vários conceitos e a natureza geral do problema, a estimação de estado em SEP tornou-se alvo de inúmeras pesquisas. Em trabalhos como (COUTTO FILHO et al., 1990; WU, 1990; BOSE et al., 1987, MONTICELLI, 1999; ABUR e EXPÓSITO, 2004), tem-se uma vasta bibliografia em relação aos estudos sobre estimação de estado em SEP.

Embora tenha sido tema de inúmeras pesquisas, a estimação de estado em SEP representa ainda um desafio aos pesquisadores, no sentido da busca de uma base de dados confiável e de ferramentas que possibilitem contornar os problemas encontrados, na implantação prática dos estimadores de estado.

2.1 Etapas envolvidas no processo de estimação de estado em SEP

O processo de estimação de estado em SEP é tradicionalmente dividido em quatro etapas (MONTICELLI, 1999):

- 1ª Etapa: Obtenção da topologia do sistema, no modelo barra-ramo (Configurador de Redes);
- 2ª Etapa: Análise e restauração da observabilidade do sistema;
- 3ª Etapa: Estimação de estado;
- 4ª Etapa: Processamento de erros grosseiros em medidas analógicas.

Todas as etapas estão descritas a seguir, com uma objetiva revisão bibliográfica.

1º Etapa: Obtenção da topologia do sistema, no modelo barra-ramo

A partir das medidas lógicas, bem como de informações quanto ao tipo e à localização dos medidores instalados no sistema, o configurador de redes permite determinar a topologia e a correspondente configuração de medidores, no modelo barra-ramo, que corresponde ao diagrama unifilar da rede, onde as barras são as subestações ou usinas geradoras e os ramos são as linhas de transmissão ou transformadores. Cada barra deve ser identificada juntamente com sua geração, suas cargas e dispositivos em derivação. A conectividade entre as barras, devido à presença de linhas de transmissão e transformadores, deve também ser descrita. Cabe ainda, ao configurador, identificar ilhamentos e descartar as ilhas que não têm geração, incluindo barras e ramos isolados.

As informações processadas pelo configurador de redes são modeladas ao nível de seção de barramento (representação física dos elementos do sistema).

Devido à importância do processo de obtenção da topologia do sistema para análise de redes, a partir de 1973 diversos estudos vêm sendo desenvolvidos na busca por configuradores de redes confiáveis (SASSON et al., 1973; DY LIACCO; RAMARAO; WEINER, 1973).

A limitação dos primeiros configuradores desenvolvidos está no fato de que não possibilitavam uma atualização da topologia, isto é, mesmo na ocorrência de

uma alteração pequena no modelo barra-ramo, dava-se início a todo o processo de configuração de redes (GODERYA; METWALLY; MANSOUR, 1980; BERTRAN; CORBELL, 1982).

Em Bose e Clements (1987), todo o processo da obtenção da topologia é descrito, juntamente com suas fases, baseado em Sasson et al. (1973). As fases descritas no processo são as seguintes: configuração de subestação, configuração de rede e tabulação dos resultados.

Tomando por base o trabalho de Bose e Clements (1987), Prais e Bose (1988) introduziram o conceito de Configurador “Tracking”, que permite a atualização da topologia da rede, em tempo real, armazenando informações de ciclos passados. Tal configurador desenvolvia-se mais lentamente que os convencionais, quando aplicado pela primeira vez, porém com maior velocidade, quando aplicada para atualização da topologia após a mudança nos estados de dispositivos seccionadores.

Yehsakul e Dabbaghchi (1995) propuseram um novo Configurador “Tracking” que aplica localmente um algoritmo de busca em profundidade, possibilitando a atualização da topologia de uma forma bastante rápida.

Recentemente Piereti (2007), desenvolveu um Configurador “Tranking”, que utiliza de uma nova metodologia para representação de grafos, intitulada Representação Nó Profundidade, a qual permite realizar as etapas de configuração de subestação e configuração de redes de uma só vez, assim diminuindo o tempo de processamento computacional. O configurador proposto por Piereti (2007) possui ainda a vantagem de atualizar apenas a parte afetada por alterações nos estados dos dispositivos seccionadores, sem a necessidade de iniciar todo o processo, assim é totalmente indicado para operação em tempo real, pois possui alto desempenho.

2º Etapa: Análise e restauração da observabilidade do sistema

Uma vez obtida a topologia do sistema, no modelo barra-ramo, a próxima etapa é verificar se é possível, através das medidas analógicas e virtuais disponíveis, determinarem as variáveis de estado em todas as barras do sistema. Em caso afirmativo, o sistema é dito observável. Caso contrário, a falta de medidas

pode ser suprida, em algumas situações, por pseudo-medidas⁷, através da qual o sistema se torna observável como um todo. Este processo é denominado restauração da observabilidade.

Uma alternativa para a situação em que o sistema não é observável como um todo é determinar as partes observáveis do sistema, isto é, as “*ilhas observáveis*”.

O método para análise de observabilidade, baseado em conceitos da teoria de controle linear (FETZER; ANDERSON, 1975), mostrou-se inviável para aplicação em tempo real, por requerer um grande esforço computacional.

De acordo com Krumpholz, Clements e Davis (1980), um sistema de potência é topologicamente observável, com relação a um conjunto de medidas, unicamente se existir, associada a tal sistema, uma árvore que, além de relacionar todas as barras da rede, possua uma medida distinta associada a cada um de seus ramos. A partir dessa definição de observabilidade, denominada “Observabilidade topológica”, Krumpholz, Clements e Davis (1980) desenvolveram um algoritmo para análise de observabilidade baseado na teoria de grafos.

Quintana et al. (1982a), através do conceito de Observabilidade topológica, propôs um algoritmo baseado na teoria de “*Matroid Intersection*”, que é uma forma diferenciada de representar grafos.

Monticelli e Wu (1985) desenvolveram um método numérico, baseado na fatoração triangular da matriz ganho, o qual permite testar a observabilidade da rede e, caso o sistema não seja observável como um todo, possibilita a identificação das ilhas observáveis. O método permite também a restauração da observabilidade, através de pseudo-medidas.

Slutsker e Scudder (1987) propuseram uma metodologia baseada na redução simbólica da matriz Jacobiana, o qual se considera apenas a posição dos elementos não nulos dessa matriz. Chen (1990) apresenta uma modificação do método proposto por Slutsker e Scudder (1987), na qual os elementos não nulos da matriz Jacobiana são considerados com valores inteiros.

Baseado na análise topológica e numérica, Contaxis e korres (1988), desenvolveram um algoritmo híbrido. As ilhas formadas apenas por medidas de fluxo são processadas via método topológico e, em seguida, procede-se à análise numérica sobre as barras fronteiras das ilhas de fluxo, para se determinar a

⁷ Dados de previsão de carga, previsão de geração, dados históricos, etc., que fazem parte do banco de dados do centro de operação.

observabilidade completa do sistema. Em 1991, Monticelli e Garcia (1991) introduziram a modelagem de elementos de impedância zero à estimação de estado, estendendo assim, os conceitos de observabilidade para as novas variáveis.

A partir da triangulação da matriz ganho e dos conceitos de caminhos de grafos, Bretas (1996) desenvolveu um novo método para analisar observabilidade, identificar ilhas observáveis e restaurar a observabilidade completa da rede. As sub-rotinas requeridas para implementação computacional do método são idênticas às rotinas disponíveis nos programas destinados à estimação de estado, o que facilita a sua implementação.

Gou e Abur (2000) desenvolveram um procedimento numérico para testar a observabilidade (identificação de ilhas observáveis e restauração da observabilidade), baseado na análise dos fatores triangulares da matriz ganho. Em Gou e Abur (2001), a metodologia foi estendida para projeto de planos de medição.

Em Simões Costa, Lourenço e Clements (2002), o conceito de observabilidade topológica, proposto por Krumpholz, Clements e Davis (1980), foi estendido aos elementos de impedância nula.

Em Gou (2005) desenvolveu-se um método para análise de observabilidade baseado na análise dos fatores triangulares da matriz aumentada de Hachtel. Na verdade, esse método é uma extensão do método proposto em Gou e Abur (2000). Já em Gou (2006) apresentou-se um novo algoritmo de análise de observabilidade baseado no processo de eliminação de Gauss aplicado a matriz Jacobiana de medidas.

Com fundamento no cálculo de espaços nulos da matriz Jacobiana, através das transformações ortogonais (CASTILLO et al., 2005), desenvolveu-se uma nova técnica algébrica para identificação de ilhas observáveis e restauração da observabilidade (CASTILLO et al., 2006).

Em London Jr. et al. (2007) foi desenvolvido um método que permite, de forma bastante rápida e simples, a análise e restauração da observabilidade na ocorrência de perda de medidas. Tal método baseia-se na fatoração triangular da matriz jacobiana.

3º Etapa: Estimação de Estado

Considerando a topologia do sistema, obtida pelo configurador de redes, e através dos parâmetros armazenados no banco de dados, bem como do conjunto disponível de medidas com ruído, o estimador de estado permite determinar as variáveis de estado de todas as barras do sistema.

A estimação de estado consiste no cálculo de variáveis de estado desconhecidas, através de um conjunto de medidas não exatas. Destarte, a estimação obtida para as variáveis de estado desconhecidas também não será exata. Pode-se dizer então que o problema de estimação consiste em encontrar uma forma de atingir a melhor estimativa das variáveis de estado desconhecidas e, para isso, dos muitos critérios estatísticos existentes, tem sido mais utilizado, para a estimação de estado em SEP, o dos mínimos quadrados ponderados (Weighted Least Squares – WLS) (SCHWEPPE, F.C, 1970), isso em razão da simplicidade da sua formulação, bem como da facilidade da sua implementação computacional.

A formulação do EE WLS é totalmente descrita na subseção 2.2.

4º Etapa: Processamento de Erros Grosseiros em medidas analógicas

As medidas analógicas, fornecidas ao estimador de estado, estão sujeitas aos EGs⁸, que levam o processo de estimação de estado a variáveis de estado “não-verdadeiras”, ou, até mesmo, a não convergência. Devido a essa fragilidade do conjunto de medidas, o estimador de estado deve ser robusto o suficiente para detectar e identificar a ocorrência de EGs nas medidas analógicas. As medidas identificadas como portadoras de EGs são eliminadas ou corrigidas e os estados são estimados novamente. Vale destacar que, dentre os métodos já desenvolvidos para detecção e identificação de erros grosseiros, os mais empregados são aqueles que se baseiam na análise estatística dos resíduos das medidas⁹ (MONTICELLI, 1999).

⁸ Em geral diz-se que uma medida é portadora de Erro Grosseiro, quando a mesma desvia do seu valor “verdadeiro” de, no mínimo, três vezes a sua variância (MILI, L., VAN CUTSEM, T. AND RIBBENS-PAVELA, M.(1984)).

⁹ Resíduo das medidas é a diferença entre o seu valor medido e o valor estimado das mesmas.

Na ocorrência de EG simples, isto é, quando apenas uma medida possuir EG, os métodos para detecção e identificação de EGs baseados na análise dos resíduos, apresentam um bom desempenho, para diversas situações. Entretanto, possuem algumas limitações, como, por exemplo, o fato de não detectarem EGs em medidas críticas (medida que, quando perdida, faz um sistema de potência observável tornar-se não observável (CLEMENTS et al., 1981), (LONDON Jr. et al., 2005)) e não identificarem EGs em conjuntos críticos de medidas (conjunto de medidas formado por medidas não críticas, em que a eliminação de uma medida qualquer, a ele pertencente, torna as demais críticas (MILI et al., 1984)). Isto em razão de as medidas críticas apresentarem resíduos nulos e as medidas de um conjunto crítico possuírem resíduos normalizados idênticos.

Para contornar essas limitações, em Korres e Contaxis (1994), Abur e Magnago (1999), Antônio et al. (2001), London Jr. et al. (2003) foram desenvolvidos métodos que permitem a obtenção de sistemas de medição isentos de medidas críticas e de conjuntos críticos de medidas.

No caso de EGs múltiplos não interativos¹⁰, quando esses não ocorrem em medidas críticas e conjuntos críticos de medidas, uma generalização da análise dos resíduos pode, na maioria das situações, ser suficiente para detectar e identificar corretamente as medidas portadoras de EGs. Entretanto, tal generalização não pode ser realizada para o processamento de EGs múltiplos interativos¹¹, porquanto, nesta situação, as medidas portadoras de EGs são redundantes entre si, e, sendo os resíduos das medidas combinações lineares dos erros de medição, nem sempre as medidas com EGs são aquelas com os resíduos normalizados de maior magnitude (MILI et al. 1984).

Bretas et al. (2009) demonstram que o erro de medida divide-se em componentes detectáveis e não-detectáveis. Demonstram ainda que as metodologias propostas até então, para processamento de EGs, referem-se apenas à parcela não-detectável do erro. Assim, dependendo da magnitude das componentes do erro, essas metodologias podem falhar, por exemplo, quando a componente não-detectável é muito maior que a detectável, fazendo com que o erro dessa medida seja “*mascarado*”.

¹⁰ Ocorrem quando os resíduos das medidas com erro grosseiro apresentam fraca interação com os demais resíduos, ou seja, quando os resíduos são fracamente correlacionados.

¹¹ Ocorrem quando as medidas com erro grosseiro apresentam resíduos fortemente correlacionados com os resíduos de outras medidas.

A metodologia para detecção e identificação de EGs baseada na análise dos resíduos normalizados é apresentada na subseção 2.3, já a formulação da metodologia proposta em Bretas et al.(2009) é detalhada no capítulo 3, juntamente com a proposta desta tese, de uma nova metodologia para processamento de EGs.

As formulações do EE WLS e do processamento de EGs via análise dos resíduos foram extraídas em grande parte das referências: A. Monticelli (1999) e A. Abur & A. Expósito (2004).

2.2 Formulação clássica do estimador de estado WLS

A finalidade do EE em SEP é encontrar uma forma de atingir a melhor estimativa das variáveis de estado desconhecidas, sendo o método estatístico dos mínimos quadrados o mais utilizado para isto. Lembrando que tal método consiste em minimizar a soma do quadrado da diferença entre o valor medido e o estimado.

Assim, considere um conjunto de medidas dadas pelo vetor $\mathbf{z} \in \mathbb{R}^m$.

$$\mathbf{z} = \mathbf{h}(\mathbf{x}) + \mathbf{e} \quad (2.1)$$

Onde, $\mathbf{h}_i(\mathbf{x}): \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$ é uma função não linear diferenciável que relaciona a medida i com o vetor de variáveis estado $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$ (vetor de tensões complexas nodais); $\mathbf{e} \in \mathbb{R}^m$ é o vetor de erros das medidas, m é o número de medidas do sistema, n o número de variáveis de estados a serem estimados.

Considera-se que, caso não haja EGs, os erros das medidas " $\mathbf{e}$ " apresentam distribuição gaussiana de média (μ) igual a "0" e matriz de covariância ($\mathbf{R}$). Considerando também que os erros das medidas sejam independentes entre si, então $E(\mathbf{e}_i \mathbf{e}_j) = 0$ e, portanto $R_{ij} = 0, \forall (i \neq j)$. Assim a matriz de covariância é diagonal, ou seja, $\mathbf{R} = \text{diag}\{\sigma_1^2 \quad \sigma_2^2 \quad \cdots \quad \sigma_m^2\}$, onde σ_i^2 é a variância do erro da i -ésima medida.

A equação 2.2 representa a matriz R expandida.

$$R = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \cdots & \sigma_m^2 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

A melhor estimativa do vetor de variáveis de estados x no EE WLS, denominado de $\hat{x}$, é obtido determinando o valor de x que torna mínimo o índice $J(x)$, ou seja, que minimiza a função objetivo:

$$J(x) = \sum_{i=1}^m \frac{(z_i - h_i(x))^2}{R_{ii}} \quad (2.3)$$

ou

$$J(x) = [z - h(x)]^T \cdot R^{-1} \cdot [z - h(x)], \quad (2.4)$$

onde, $R^{-1} = \text{diag} \left\{ \frac{1}{\sigma_1^2} \quad \frac{1}{\sigma_2^2} \quad \cdots \quad \frac{1}{\sigma_m^2} \right\}$ é a matriz de ponderação das medidas que

é o inverso da matriz de covariância.

Minimizando a função objetivo $J(x)$ tem-se:

$$\frac{\partial J(x)}{\partial x} = 0 \quad (2.5)$$

ou

$$-H^T(\hat{x}) \cdot R^{-1} \cdot [z - h(\hat{x})] = 0, \quad (2.6)$$

onde, $H(\hat{x})$ é a matriz jacobina, ou em outras palavras, a matriz de primeiras derivadas das funções não lineares do vetor $h(x)$, calculado no ponto representado pelo vetor de variáveis de estado estimado $\hat{x}$, representado por:

$$H(\hat{x}) = \left. \frac{\partial h(x)}{\partial x} \right|_{x=\hat{x}} \quad (2.7)$$

A montagem da matriz jacobina $H(\hat{x})$ no processamento do EE WLS é totalmente explicada na subseção 2.4, através das equações do fluxo de carga apresentada em Monticelli (1999).

Linearização do Modelo de Medição

Sendo o índice $J(x)$ representado por uma função quadrática, expressa em termos de um vetor de equações não lineares, então a obtenção de $\hat{x}$ do EE WLS requer a aplicação de um método iterativo (SIMÕES-COSTA; SALGADO, 2002), dadas por:

$$x^{k+1} = x^k + \Delta x^k \quad (2.8)$$

Para determinação da correção Δx^k , inicialmente considera-se a linearização das equações $h(x)$ em torno do ponto x^k , representada pela expressão:

$$h(x^{k+1}) \cong h(x^k) + H(x^k) \cdot \Delta x^k \quad (2.9)$$

Reescrevendo a equação (2.1) em relação às aproximações realizadas em $h(x)$, obtêm-se o modelo de medição linearizado:

$$z = h(x^k) + H(x^k) \cdot \Delta x^k + e \quad (2.10)$$

Ou escrevendo de outra forma:

$$\Delta z(x^k) = z - h(x^k) = H(x^k) \cdot \Delta x^k + e \quad (2.11)$$

Onde, $\Delta z(x^k)$ é o vetor dos resíduos de medição.

A partir do modelo de medição linearizado, a função objetivo $J(\Delta x)$ torna-se:

$$J(\Delta x) = [\Delta z(x^k) - H(x^k) \cdot \Delta x^k]^T \cdot R^{-1} \cdot [\Delta z(x^k) - H(x^k) \cdot \Delta x^k] \quad (2.12)$$

Minimizando a equação 2.12 temos:

$$\frac{\partial J(x)}{\partial x} = H(x^k)^T \cdot R^{-1} \cdot [\Delta z(x^k) - H(x^k) \cdot \Delta x^k] = 0 \quad (2.13)$$

Assim, a solução do processo é dada pela seguinte expressão:

$$\begin{aligned} \Delta x^k &= [H(x^k)^T \cdot R^{-1} \cdot H(x^k)]^{-1} \cdot H(x^k)^T \cdot R^{-1} \cdot \Delta z(x^k) \\ \Delta x^k &= [G^k]^{-1} \cdot H(x^k)^T \cdot R^{-1} \cdot \Delta z(x^k) \end{aligned} \quad (2.14)$$

A equação 2.14 é denominada Equação Normal, onde G^k é a matriz ganho dada por:

$$G^k = H(x^k)^T \cdot R^{-1} \cdot H(x^k) \quad (2.15)$$

O processo iterativo começa a partir de uma estimativa inicial x^0 , e a cada iteração as correções nas variáveis de estado Δx são obtidas através da equação (2.14), em seguida corrigem-se, as variáveis de estado, representada na equação (2.8), até que o seguinte critério de parada seja satisfeito:

$$\max |\Delta x_i| \leq \varepsilon \quad (2.16)$$

Onde ε é a tolerância previamente estabelecida, normalmente $\varepsilon = 10^{-3}$.

A seguir tem-se o algoritmo e o fluxograma do EE WLS.

2.2.1 Algoritmo do estimador de estado WLS

```

PARA:  $x^k = x^0$  // Inicializa as variáveis de estados "Flat Start"
    FAÇA // Enquanto  $\Delta x^k > \varepsilon$ 
        Calcule  $h(x)$  // calcula o vetor  $h(x)$ 
        Calcule  $H(x^k)$  // calcula a matriz jacobiana
        Calcule  $G^k$  // calcula matriz ganho
        Calcule  $\Delta z(x^k)$  // calcula o vetor de resíduos das medias
        Calcule  $\Delta x^k$  // calcula a correção das variáveis de estados
        Atualize  $x^k$  // atualiza as variáveis de estados  $x^{k+1} = x^k + \Delta x^k$ 
    ENQUANTO  $\Delta x^k > \varepsilon$  // Fim do faça
FIM PARA
FAÇA
     $\hat{x} = x^k$  // atribui os valores das variáveis de estados estimados  $x^k$  a  $\hat{x}$ 
FIM FAÇA

```

2.2.2 Fluxograma do algoritmo do estimador de estado WLS

2.3 Processamento de Erros Grosseiros segundo métodos clássicos

Uma função essencial do EE é o processamento de medidas portadoras de EGs, ou seja, detectar e identificar medidas com EG e, se possível, eliminar ou corrigir o valor destas medidas. Para realizar esse processamento, pressupõe-se a não existência de erros topológicos e erros de parâmetros.

A detecção de EG consiste em determinar se um conjunto de medidas qualquer contém EG. Por outro lado, a identificação de EG consiste em determinar a medida portadora de EG.

Alguns EGs são evidentes e são detectados e eliminados em processo de pré-filtragem, antes do processo de estimação de estado propriamente dito.

Entretanto, existem EGs que não são facilmente detectados, pois não são evidentes, necessitando assim de ferramentas estatísticas adicionais para serem detectados e identificados.

Os EGs podem aparecer de diversas formas, dependendo da localização e da quantidade de medidas portadoras de EGs. Nesse contexto, os EGs podem ser classificados como **EG simples**, quando apenas uma medida é portadora de EG, ou **EGs múltiplos**, quando mais de uma medida é portadora de EG.

Os EGs múltiplos são sub-classificados como (MILI et al., 1984):

- **Erros Grosseiros múltiplos não interativos:** EGs em medidas cujos resíduos são fracamente correlacionados com os resíduos de outras medidas.
- **Erros Grosseiros múltiplos interativos:** EGs em medidas cujos resíduos são fortemente correlacionados. Este tipo de EGs Múltiplos podem ainda ser classificados como:
 - **Erros Grosseiros múltiplos interativos não conformativos:** são EGs interativos cujo efeito não é “mascarado” nos resíduos das medidas portadoras de EGs. Dessa forma, as medidas com EGs apresentarão resíduos normalizados elevados.
 - **Erros Grosseiros múltiplos interativos e conformativos:** são EGs interativos cujo efeito é “mascarado” nos resíduos das medidas portadoras de EGs, fazendo com que as mesmas se comportem “conforme” as medidas sem EG. Dessa forma, as medidas portadoras de EGs irão apresentar resíduos normalizados pequenos e medidas sem EGs podem ser identificadas como portadoras de EGs.

São dois os métodos mais utilizados, em conjunto com o EE WLS, para processamento de EGs: o teste do índice $J(x)$, que é a função a ser minimizada em (2.12), e o teste do maior resíduo normalizado. O teste do índice $J(x)$ possibilita apenas a detecção de EGs. Por outro lado, o teste do maior resíduo normalizado possibilita detecção de EGs e identificação das medidas portadoras de EGs.

Haja vista que os métodos supracitados baseiam-se na análise dos resíduos das medidas, apresentam-se, na próxima seção, algumas propriedades dos resíduos.

2.3.1 Propriedades dos resíduos das medidas

Considere a equação $\Delta z = H \cdot \Delta x + e$, de medidas linearizadas apresentada na equação 2.11 e o vetor $\Delta \hat{x} = (H^T \cdot R^{-1} \cdot H)^{-1} \cdot H^T \cdot R^{-1} \cdot \Delta z = G^{-1} \cdot H^T \cdot R^{-1} \cdot \Delta z$, das correções das variáveis de estado apresentadas na equação 2.14, assim o valor estimado de Δz pode ser calculado por:

$$\Delta \hat{z} = H \cdot \Delta \hat{x} = P \cdot \Delta z \quad (2.17)$$

Sendo $P = H \cdot G^{-1} \cdot H^T \cdot R^{-1}$ a matriz de projeção ou “matriz chapéu”. Essa matriz possui as seguintes propriedades (ABUR e EXPÓSITO, 2004):

- $P^2 = P$
- $P \cdot H = H$
- $(I - P) \cdot H = 0$

Por meio dos elementos da diagonal principal da matriz P , é possível inferir sobre a redundância local das medidas, pois, valores da diagonal, muito maior que os valores de outros elementos da mesma linha desta diagonal, indicam baixa redundância da medida, por exemplo: para medida crítica i , $P_{ii} = 1$ e $P_{ij} = 0$, $\forall (i \neq j)$, ou seja, $P_{ii} \gg P_{ij}$.

Os resíduos das medidas podem ser expressos por:

$$r = \Delta z - \Delta \hat{z} = (I - P) \cdot \Delta z = (I - P) \cdot (H \cdot \Delta x + e) = (I - P) \cdot e = S \cdot e \quad (2.18)$$

Onde $S = (I - P)$ é a matriz de sensibilidade dos resíduos, que representa a “sensibilidade” dos resíduos das medidas em relação aos erros destas medidas.

Esta matriz é, em verdade, uma matriz projeção e, por conseguinte, possui as seguintes propriedades:

- Não é uma matriz simétrica, a menos que as covariâncias dos erros sejam todas iguais, isto é, $R = K \cdot I$, onde K é um escalar.
- $S^2 = S$
- $S \cdot R \cdot S^T = S \cdot R$

Fazendo referência à seção 2.2, onde foi dito que o EE WLS baseia-se na hipótese de que os erros nas medidas tenham distribuição gaussiana com média zero e variâncias R_{ii} , isto é, $e_i \sim N(0, R_{ii})$ para todo i , a esperança do vetor de resíduos será: $E(r) = E(S \cdot e) = S \cdot E(e) = 0$; e a covariância do vetor de resíduo das medidas será: $Cov(r) = \Omega = E[r \cdot r^T] = S \cdot E[e \cdot e^T] S^T = S \cdot R \cdot S^T = S \cdot R$. Dessa forma, o vetor resíduo das medidas tem uma distribuição:

$$r \sim N(0, \Omega) \quad (2.19)$$

Os elementos fora da diagonal principal da matriz de covariância dos resíduos das medidas podem ser utilizados para identificar se os resíduos das medidas são fortemente ou fracamente interativos (ABUR e EXPÓSITO, 2004).

Se $\Omega_{ij} > \epsilon$, então os resíduos das medidas i e j são fortemente interativos, caso contrário, são fracamente interativos ou não interativos. O limiar ϵ é heurísticamente escolhido e depende da topologia da rede e de como as medidas estão distribuídas nessa topologia.

A matriz de covariância dos resíduos Ω possui propriedades que serão utilizadas na identificação de medidas portadoras de EGs; estas propriedades são:

- Ω é uma matriz real e simétrica.
- $\Omega_{ij}^2 \leq \Omega_{ii} \cdot \Omega_{jj}$
- $\Omega_{ij} \leq \frac{(\Omega_{ii} + \Omega_{jj})}{2}$

2.3.2 Classificação das medidas

Em termos de redundância, as medidas analógicas disponíveis para estimação de estado são classificadas da seguinte forma:

Medida crítica: Medida crítica é à medida que, quando perdida, faz um SEP observável tornar-se não observável. O resíduo de uma medida crítica é sempre zero, assim não é possível detectar erro em medida crítica através de técnicas baseadas na análise de resíduos.

Medida redundante: Medida redundante é uma medida que não é crítica. Somente medidas redundantes possuem resíduos diferentes de zero, o que possibilita a detecção e identificação de EGs destas medidas através de técnicas baseadas na análise de resíduos.

Par crítico: Um par crítico é composto por duas medidas redundantes (não críticas), onde a supressão dessas medidas torna o sistema não observável. A supressão de apenas uma das medidas de um par crítico torna a outra uma medida crítica.

Conjunto Crítico: Conjunto crítico de medidas é o conjunto de medidas formado por medidas redundantes (não críticas), em que a eliminação de uma medida qualquer, a ele pertencente, torna as demais medidas deste conjunto críticas. De acordo com (MILI et al., 1984), o erro em uma medida, pertencente a um conjunto crítico de medidas, pode ser detectado, mas não identificado, uma vez que os resíduos normalizados das medidas pertencentes a um conjunto crítico de medidas possuem valores iguais em módulo.

De acordo com as definições anteriores conclui-se:

- Duas medidas quaisquer de um conjunto crítico constituem um par crítico de medidas;
- Para possibilitar detecção de EGs o nível de redundância das medidas disponíveis deve ser tal que garanta a ausência de medidas críticas;
- Para possibilitar identificação de EGs o nível de redundância das medidas disponíveis deve ser tal que garanta a ausência de medidas críticas e de conjuntos críticos de medidas.

2.3.3 Detecção de erros grosseiros: teste do índice $J(x)$

Admitindo a hipótese de que o vetor dos erros nas medidas possua distribuição normal, caso não haja nenhuma medida com EG, em Handaschin et al. (1975) mostrou-se que o índice $J(x)$ apresenta uma distribuição Chi-quadrada (χ^2), com $m-n$ graus de liberdade, sendo m e n os números de medidas disponíveis e de variáveis de estado a serem estimadas respectivamente.

Distribuição Chi-Quadrada

Considere o conjunto de N variáveis aleatórias independentes, com distribuição normal padronizada, dadas por $X_1, X_2, \dots, X_N$, isto é:

$$X_i \sim N(0,1) \quad (2.20)$$

Considere ainda a variável aleatória Y , definida por:

$$Y = \sum_{i=1}^N X_i^2 \quad (2.21)$$

Tem-se então que Y terá uma distribuição χ^2 com N graus de liberdade, isto é:

$$Y \sim \chi_N^2 \quad (2.22)$$

O grau de liberdade N representa o número de variáveis independentes na soma dos quadrados.

Considerando a função densidade de probabilidade $f(X)$, escrita em função dos erros das medidas, dada por:

$$f(X) = \sum_{i=1}^m R_{ii}^{-1} \cdot e_i^2 = \sum_{i=1}^m \left(\frac{e_i}{\sqrt{R_{ii}}} \right)^2 = \sum_{i=1}^m (e_i^N)^2, \quad (2.23)$$

onde e_i é o erro da i -ésima medida, e_i^N o erro normalizado da i -ésima medida, R_{ii} o elemento da diagonal principal i , da matriz de covariância dos erros de medidas e m é o número total de medidas. Assumindo que os erros das medidas sejam variáveis aleatórias com distribuição normal, então o erro normalizado e_i^N tem uma distribuição normal padronizada, isto é:

$$e_i^N \sim N(0,1) \quad (2.24)$$

Assim, $f(X)$ tem uma distribuição χ^2 com $(m-n)$ graus de liberdade. No problema de estimação de estado em sistemas elétricos de potência, são necessárias n medidas para tornar o sistema observável, isto é, para possibilitar a estimação de estado para todas as barras do sistema. Dessa forma, no máximo $m-n$ erros de medidas serão linearmente independentes. Conseqüentemente, $m-n$ é o máximo grau de liberdade de $f(X)$.

A Figura 2.1 ilustra a função de densidade de probabilidade de uma distribuição χ^2 com $15(m-n)$ graus de liberdade. A área sob a função de densidade de probabilidade representa a probabilidade de encontrar X na correspondente região, por exemplo:

$$Pr\{X \geq x_t\} = \int_{x_t}^{\infty} \chi^2(u) du \quad (2.25)$$

Onde Pr representa a probabilidade de X ser maior do que um limiar x_t . Essa probabilidade diminui com valores maiores de x_t , devido à diminuição da “cauda” da distribuição. Escolhendo uma probabilidade de erro de 0.05, o limiar x_t pode ser definido como:

$$Pr\{X \geq x_t\} = 0.05$$

Figura 2.1: Função densidade de probabilidade: distribuição χ^2 (ABUR e EXPÓSITO, 2004)

Na Figura 2.1, pode-se observar o limiar $x_t = 25$, indicado pela linha tracejada na vertical. O limiar x_t representa o maior valor admissível para X que não implica em EG. Se o valor medido de X exceder esse limiar, então existe uma probabilidade de 95% de X não ter distribuição χ^2 , ou seja, existe a suspeita de ter EG.

Teste do índice $J(x)$

A função objetivo $J(x)$ do estimador de estado WLS pode ser utilizada para aproximar a função $f(X)$, definida na seção anterior, dando origem a um teste para detecção de EGs no processo de estimação de estado em SEP, conhecido como teste do índice $J(x)$ o, que possui os seguintes passos:

- Resolva o estimador WLS e calcule a função objetivo $J(x)$ para $x = \hat{x}$:

$$J(\hat{x}) = \sum_{i=1}^m \frac{(z_i - h_i(\hat{x}))^2}{\sigma_i^2}$$

- Encontre na tabela da distribuição χ^2 , o valor correspondente à detecção com probabilidade $p=95\%$ e $(m-n)$ graus de liberdade, ou seja, encontre $\chi_{(m-n),p}^2$.

Onde $p = \Pr(J(\hat{x}) \leq \chi_{(m-n),p}^2)$.

- Teste: se $J(\hat{x}) \geq \chi_{(m-n),p}^2$, então existe a suspeita de EG, caso contrário nada se pode afirmar.

Exemplo de aplicação do teste do índice $J(x)$

Considere o SEP de 3 barras ilustrado na Figura 2.2, cujos dados são indicados na tabela 2.1.

Figura 2.2: Sistema elétrico de potência de 3 barras

Tabela 2.1: Dados do sistema da Figura 2.2

Linha		Resistência R(pu)	Reatância X(pu)	Susceptância 2bs(pu)
Barra origem	Barra destino			
1	2	0,01	0,10	0,00
1	3	0,10	1,00	0,00
2	3	0,10	1,00	0,00

O número de variáveis de estado a serem estimadas para sistema é $n=5$, ou seja, três magnitudes de tensão e 2 ângulos de fase, pois o ângulo de fase de uma das barras é escolhido como referência e igualado a zero. O número de medidas disponíveis para estimação de estado neste sistema é $m=11$, sendo: duas de injeção de potência ativa (Ia); duas de potência reativa (Ir); três fluxo de potência ativa (Fa); três de fluxo de potência reativa (Fr); e uma de amplitude de tensão (V). Assim o grau de liberdade deste sistema é $m-n=6$.

Utilizando a tabela da distribuição Chi-quadrado, encontra-se o valor “limiar” $\chi^2_{(m-n),p}$, com $p=95\%$ e $m-n=6$: $\chi^2_{(6),0.95} = 12,592$.

Por meio do EE WLS, estimam-se as variáveis de estado do caso base, “sem EG”, e do caso em que se adiciona EG de -5 desvios padrões na medida de injeção de potência ativa na barra 2 ($Ia:2$). Os valores das variáveis de estado estimadas estão na tabela 2.2, já os valores das medidas e dos índices $J(\hat{x})$ estão na tabela 2.3.

Os valores das medidas do caso base foram obtidos a partir de um programa computacional que adiciona, aos valores obtidos pelo estudo de fluxo de carga (Z^c), erros aleatórios de média zero e desvio padrão calculado através da seguinte equação:

$$\sigma_i = \frac{pr \cdot |Z_i^c|}{3}, \quad (2.26)$$

sendo pr a precisão do medidor (considerado aqui igual a 3%).

Em todas as simulações deste trabalho, adiciona-se ruído gaussiano entre ± 3 desvios padrões, em todas as medidas.

Tabela 2.2: Estados Estimados do SEP da Figura 2.2

Barra	Caso base		Caso com EG na medida Ia:2	
	V	θ°	V	θ°
1	0,968	0,00	0,964	0,00
2	0,973	12,44	0,969	12,62
3	1,006	-22,20	1,000	-22,34

Após estimar as variáveis de estado calcula-se o índice $J(\hat{x})$. Conforme apresentado na Tabela 2.3, para o caso base $J(\hat{x}) = 0.569$ e para o caso com EG $J(\hat{x}) = 17.649$, veja tabela 2.3. Assim, conclui-se que no caso base $J(\hat{x}) < \chi^2_{(6),0.95}$, portanto não existe suspeita de EG; já no caso onde se atribui EG, $J(\hat{x}) \geq \chi^2_{(6),0.95}$, o que sugere a existência de EG.

Tabela 2.3: Medidas do SEP da Figura 2.2

Medida	Valor	
	Caso base	Caso com EG na medida Ia:2
Ia:1	-1,623	-1.623
Ia:2	2,596	2,561
Fa:2-1	2,033	2.033
Fa:1-3	0,366	0.366
Fa:2-3	0,563	0.562
Ir:1	0,373	0.372
Ir:3	0,403	0.404
Fr:1-2	0,374	0.374
Fr:3-1	0,145	0.144
Fr:3-2	0,259	0.258
V:3	1,006	1.006
$J(x)$	0,569	17,649

Com intuito de mostrar que a detecção de EG via índice $J(\hat{x})$ pode falhar em determinadas situações, acrescenta-se EG de 5 desvios padrões na medida de fluxo de potencia ativa Fa:1-3, do sistema apresentado na Figura 2.2. As estimativas obtidas para este caso estão expostas na tabela 2.4 e os valores das medidas e dos índices $J(\hat{x})$ na tabela 2.5.

Tabela 2.4: Estados Estimados do SEP da Figura 2.2

Barra	Caso base		Caso com EG na medida Fa:1-3	
	V	θ°	V	θ°
1	0,9682	0,00	0,9775	0,00
2	0,9728	12,44	0,9819	12,20
3	1,0059	-22,20	1,0110	-22,51

Tabela 2.5: Medidas do SEP da Figura 2.2

Medida	Valor	
	Caso base	Caso com EG na medida Fa:1-3
Ia:1	-1,623	-1,623
Ia:2	2,596	2,597
Fa:2-1	2,033	2,033
Fa:1-3	0,366	0,3789
Fa:2-3	0,563	0,563
Ir:1	0,373	0,372
Ir:3	0,403	0,403
Fr:1-2	0,374	0,374
Fr:3-1	0,145	0,144
Fr:3-2	0,259	0,258
V:3	1,006	1,006
J(x)	0,569	6,643

Analisando o índice $J(\hat{x})$ obtido para este último caso, apresentado na Tabela 2.5, verifica-se que o teste do índice $J(\hat{x})$ falhou, pois $J(\hat{x}) < \chi^2_{(6),0.95}$, indicando a ausência de EG, quando na verdade a medida Fa:1-3 é portadora de EG.

2.3.4 Detecção de erros grosseiros: resíduo normalizado

Como mencionado anteriormente, através da análise do resíduo normalizado (RN) é possível detectar EGs e identificar as medidas portadoras de EGs.

O resíduo normalizado da medida i pode ser obtido pela divisão, do valor absoluto do resíduo da medida, pela raiz quadrada do elemento da diagonal principal da matriz de covariâncias dos resíduos correspondente à medida i , ou seja:

$$r_i^N = \frac{|r_i|}{\sqrt{\Omega_{ii}}} = \frac{|r_i|}{\sqrt{R_{ii} \cdot S_{ii}}} \quad (2.27)$$

Então o vetor de resíduo normalizado r^N tem uma distribuição normal padronizada, isto é:

$$r^N \sim N(0,1) \quad (2.28)$$

O resíduo normalizado indica a variação do valor de uma medida em relação ao valor “verdadeiro”. Por exemplo, se uma medida é portadora de um EG de 10 desvios padrões, ela apresentará um resíduo normalizado aproximadamente igual a 10.

Assim, o maior elemento em r^N pode ser comparado estatisticamente com um valor limiar para identificar a existência ou não de EG.

Propriedades do resíduo normalizado

A propriedade seguinte justifica a utilização do teste do maior resíduo normalizado para identificação de medidas portadoras de EGs.

Propriedade: Consideremos um SEP monitorado por um sistema de medição com boas condições de redundância (isento de medidas críticas e de conjuntos críticos de medidas). Se apenas uma das medidas desse sistema for portadora de EG e as demais forem “perfeitas”, isto é, sem ruído algum, então a medida que apresenta o maior resíduo normalizado em valor absoluto é a medida portadora do EG.

De acordo com a literatura (ABUR e EXPÓSITO, 2004), esta propriedade pode manter-se verdadeira mesmo na situação de EGs múltiplos não interativos.

Para mostrar a propriedade supracitada, considere o caso onde o EG ocorre na medida k , isto é, $e_k \neq 0$, e as demais medidas do sistema não possuindo erro ou ruído algum, isto é, $e_j = 0, \forall (j \neq k)$. Usando a equação 2.18, o resíduo normalizado para uma medida j qualquer ($j \neq k$) é dado por:

$$r_j = S_{jk} \cdot e_k \quad j = 1, \dots, m (j \neq k)$$

$$r_j^N = \frac{S_{jk} \cdot e_k}{\sqrt{R_{jj}} \cdot \sqrt{S_{jj}}} = \frac{\Omega_{jk} \cdot e_k}{\sqrt{\Omega_{jj}} \cdot R_{kk}}$$

Aplicando a propriedade da matriz de covariância dos resíduos $\Omega_{jk}^2 \leq \Omega_{jj} \cdot \Omega_{kk}$, tem-se:

$$r_j^N \leq \frac{\sqrt{\Omega_{jj}} \cdot \sqrt{\Omega_{kk}} \cdot e_k}{\sqrt{\Omega_{jj}} \cdot R_{kk}}$$

$$r_j^N \leq \frac{\sqrt{\Omega_{kk}} \cdot e_k}{R_{kk}} = \frac{S_{kk} \cdot e_k}{\sqrt{R_{kk}} \cdot \sqrt{S_{kk}}} = r_k^N,$$

e portanto o máximo resíduo normalizado é o da medida portadora de EG.

2.3.5 Identificação de erros grosseiros: resíduo normalizado

A partir da propriedade do resíduo normalizado previamente apresentada, desenvolveu-se o teste do maior resíduo normalizado (r_{max}^N) para identificação da medida portadora de EGs, que consiste dos seguintes passos:

- Resolva o estimador WLS e obtenha os elementos do vetor dos resíduos das medidas:

$$r_i = z_i - h_i(\hat{x}), \quad i = 1, \dots, m$$

- Calcule os resíduos normalizados:

$$r_i^N = \frac{|r_i|}{\sqrt{\Omega_{ii}}} \quad i = 1, \dots, m$$

- Encontre k tal que r_k^N é o maior entre todos os r_i^N , $i = 1, \dots, m$.

- Se $r_k^N > c$, então a k -ésima medida é suspeita de estar com EG, caso contrário nada se pode afirmar. Em EE em SEP emprega-se usualmente $c = 3$ (ABUR e EXPÓSITO, 2004).
- Elimine ou corrija a k -ésima medida do conjunto de medida e reinicie o processo de EE.

Como exemplo considere novamente o sistema da Figura 2.2, onde agora será aplicado o teste do máximo resíduo normalizado para detectar, identificar e eliminar a medida portadora de EG. Neste exemplo adicionou-se EG de -5 desvios padrões na medida de injeção de potência ativa 2 (Ia:2).

Após executar o EE WLS, obtém-se os resíduos e os resíduos normalizados do conjunto de medidas apresentados na Tabela 2.6.

O limiar “ c ” assumido para detecção é igual a 3.0, ou seja, para detectar EG é necessário que o erro seja de no mínimo 3 desvios padrões da medida. Assim, de acordo com a Tabela 2.6 a medida Ia:2 é identificada com portadora de EG e deve ser eliminada do conjunto de medidas.

Após a eliminação da medida Ia:2, executa-se novamente o EE WLS. O resultado informa que nenhuma medida possui resíduo normalizado maior que o limiar “ c ” (veja Tabela 2.7). As variáveis de estado estimadas, após a eliminação da medida Ia:2 são apresentadas na Tabela 2.8. Pode-se observar que após eliminar a medida com EG o sistema obtém praticamente os mesmos valores do sistema simulado sem EG apresentado na tabela 2.2.

Tabela 2.6: Resíduos Normalizado das medidas do SEP da Figura 2.2, com EG na medida Ia:2

Medida	Resíduo Normalizado
Ia:1	-1,8486
Ia:2	-4,1820
Fa:2-1	1,5228
Fa:1-3	0,8331
Fa:2-3	0,5065
Ir:1	-0,1530
Ir:3	-0,0051
Fr:1-2	0,0531
Fr:3-1	-0,3558
Fr:3-2	0,4505
V:3	0,1734

Tabela 2.7: Resíduos Normalizado das medidas do SEP da Figura 2.2, após eliminar a medida Ia:2

Medida	Resíduo Normalizado
Ia:1	0,0460
Fa:2-1	0,0985
Fa:1-3	0,3102
Fa:2-3	-0,2351
Ir:1	-0,2556
Ir:3	-0,0973
Fr:1-2	0,2223
Fr:3-1	-0,1149
Fr:3-2	0,1952
V:3	-0,0525

Tabela 2.8: Estados Estimados do SEP da Figura 2.2, após eliminar a medida Ia:2

Barra	V	θ°
1	0,9678	0,00
2	0,9722	12,39
3	1,0059	-22,17

Porém para mostrar que o teste de identificação de EG via resíduo normalizado também pode falhar, mesmo para EG simples, adiciona-se EG de 5 desvios padrões na medida de fluxo de potência ativa Fa:1-3 do sistema da Figura 2.2. Observe, pelos resultados apresentado na Tabela 2.9, que após estimar as variáveis de estado e calcular os resíduos normalizados das medidas não é possível identificar medida alguma como portadora de EG, uma vez que o maior resíduo normalizado é o da medida Fa:1-3 = 2,4773, menor que o limiar “c”.

Tabela 2.9: Resíduos Normalizado das medidas do SEP da Figura 2.2, com EG na medida Fa:1-3

Medida	Resíduo Normalizado
Ia:1	-0,2233
Ia:2	0,0036
Fa:2-1	0,5189
Fa:1-3	2,4773
Fa:2-3	-1,8119
Ir:1	-1,4828
Ir:3	-0,0744
Fr:1-2	1,4666
Fr:3-1	-0,0713
Fr:3-2	-0,1627
V:3	-0,9674

2.3.6 Vantagens e limitações do teste do máximo resíduo normalizado.

O teste do máximo resíduo normalizado possui desempenho diferente dependendo do tipo de EG.

De acordo com a literatura, quando o EG é simples, o maior resíduo normalizado corresponde à medida errônea, lembrando que esta medida não pode ser crítica (ABUR e EXPÓSITO, 2004). Porém, como mostrado no exemplo anterior, existem situações que o teste do maior resíduo normalizado falha mesmo na ocorrência de EG simples em medida redundante.

No caso de ocorrência de EGs múltiplos, temos as seguintes possibilidades:

- EGs múltiplos não interativos: se $S_{ik} \approx 0$, então as medidas i e k são ditas não interativas, ou seja, são fracamente correlacionadas. Neste caso, o EG em uma medida não afeta ou afeta pouco o resíduo das medidas disponíveis e assim o máximo resíduo normalizado pode identificar sequencialmente os erros nestas medidas.
- EGs múltiplos interativos: se S_{ik} é significativamente grande, então as medidas i e k são interativas, ou seja, apresentam resíduos fortemente correlacionados com os resíduos de outras medidas. Os EGs interativos podem ser classificados como conformativos ou não-conformativos.
 - Não conformativos: são EGs interativos, cujo efeito não é “mascarado” nos resíduos das medidas portadoras de EGs. Desta forma, as medidas com EGs irão apresentar resíduos normalizados elevados, e assim os EGs podem ser identificados através do teste do maior resíduo normalizado.
 - Conformativos: são EGs interativos cujo efeito é “mascarado” nos resíduos das medidas portadoras de EGs. Deste modo, as medidas com EGs apresentarão resíduos normalizados pequenos, e a identificação dos EGs através do maior resíduo normalizado pode falhar.

2.4 Equações do fluxo de carga: matriz jacobiana

O equacionamento do fluxo de carga é de fundamental importância para entender a estrutura da matriz jacobiana do EE WLS, apresentada na seção 2.2. Para apresentar esse equacionamento será utilizado o modelo unificado apresentado na Figura 2.3, utilizado em Monticelli (1999), que resulta da generalização dos modelos equivalentes de linhas de transmissão, transformadores em fase e transformadores defasadores.

Figura 2.3: Modelo unificado do sistema elétrico ($t = ae^{j\varphi}$).

As siglas desse modelo são:

g_{km} a condutância série da linha de transmissão;

b_{km} a susceptância série da linha de transmissão;

y_{km} a admitância série da linha de transmissão;

b_{km}^{sh} e b_{mk}^{sh} a susceptância shunt para linhas de transmissão conectadas nas barras k e m e nas barras m e k respectivamente;

$t_{km} = a_{km} \cdot e^{j\varphi}$ e $t_{mk} = a_{mk} \cdot e^{j\varphi}$ a relação de transformação para transformadores, da barra k para m e da barra m para k ;

V_k e V_m as amplitudes de tensão elétrica das barras k e m , respectivamente;

θ_k e θ_m os ângulos de fase de tensão elétrica das barras k e m , respectivamente.

A partir das teorias básicas de circuitos elétricos em corrente alternada, as expressões de fluxo de potencia ativa (P_{km}) e reativa (Q_{km}) do modelo unificado apresentado na Figura 2.3 são:

$$\begin{aligned} P_{km} &= a_{km}^2 \cdot V_k^2 \cdot g_{km} - a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot g_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\ &\quad - a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot b_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) \\ Q_{km} &= -a_{km}^2 \cdot V_k^2 \cdot (b_{km} + b_{km}^{sh}) + a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot b_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\ &\quad - a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot g_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) \end{aligned} \quad (2.29)$$

Para considerar a medida de fluxo da barra m para barra k , basta trocar os índices k e m de posição na equação 2.29.

Considerando cada barra do sistema como um nó de um circuito elétrico, temos que a soma líquida de potência em uma barra é igual à zero (primeira Lei de Kirchhoff). Assim, considerando que os fluxos de potência ativa e reativa estão saindo da barra e que as medidas de injeção de potência ativa (P_k) e reativa (Q_k) estão entrando na barra, as equações de injeção em uma barra genérica k ficam:

$$\begin{aligned} P_k &= \sum_{m \in \Omega k} P_{km} \\ Q_k &= -V_k^2 \cdot b_k^{sh} + \sum_{m \in \Omega k} Q_{km} \end{aligned} \quad (2.30)$$

O termo b_k^{sh} refere-se à susceptância *shunt* de possíveis elementos reativos conectados a barra, como por exemplo, um capacitor.

Expandindo a equação 2.30 tem-se:

$$\begin{aligned} P_k &= \sum_{m \in \Omega k} a_{km}^2 \cdot V_k^2 \cdot g_{km} - \sum_{m \in \Omega k} a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot g_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\ &\quad - \sum_{m \in \Omega k} a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot b_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) \\ Q_k &= -V_k^2 \cdot b_k^{sh} - \sum_{m \in \Omega k} a_{km}^2 \cdot V_k^2 \cdot (b_{km} + b_{km}^{sh}) + \\ &\quad + \sum_{m \in \Omega k} a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot b_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\ &\quad - \sum_{m \in \Omega k} a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot g_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) \end{aligned} \quad (2.31)$$

Para considerar a medida de injeção na barra m , basta trocar os índices de k para m na equação 2.31.

Os medidores de amplitude de tensão medem diretamente sua grandeza. Dessa forma, a expressão em relação á variável de estado medida fica:

$$V_k = V_k \quad (2.32)$$

O conjunto de equações 2.29, 2.31 e 2.32 corresponde à função não linear “ $h_i(x)$ ” diferenciável que relacionam as medidas com o vetor de estados.

As variáveis de estados a serem estimadas são as amplitudes das tensões e os ângulos de fase da barras k e m , ou seja, V_k , V_m , θ_k e θ_m .

Da seção 2.2, sabe-se que a matriz jacobiana é composta pelas derivadas parciais das equações, correspondentes às medidas disponíveis para estimação de estado, em relação às variáveis de estado a serem estimadas. Estamos considerando aqui medidas de potência ativa e reativa e de amplitude de tensão, que são as usualmente utilizadas no processo de estimação de estado.

A matriz Jacobiana pode ser armazenada de varias formas distinta. Neste trabalho o armazenamento é estruturado como indicado na Figura 2.4.

$$\begin{array}{c}
 P_k^{\text{medido}} \\
 P_{km}^{\text{medido}} \\
 Q_k^{\text{medido}} \\
 Q_{km}^{\text{medido}} \\
 V_k^{\text{medido}}
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \dots & \frac{\partial P_k}{\partial \theta_k} & \dots & \frac{\partial P_k}{\partial \theta_m} & \dots & \frac{\partial P_k}{\partial V_k} & \dots & \frac{\partial P_k}{\partial V_m} & \dots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \dots & \frac{\partial P_{km}}{\partial \theta_k} & \dots & \frac{\partial P_{km}}{\partial \theta_m} & \dots & \frac{\partial P_{km}}{\partial V_k} & \dots & \frac{\partial P_{km}}{\partial V_m} & \dots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \dots & \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_k} & \dots & \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_m} & \dots & \frac{\partial Q_k}{\partial V_k} & \dots & \frac{\partial Q_k}{\partial V_m} & \dots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \dots & \frac{\partial Q_{km}}{\partial \theta_k} & \dots & \frac{\partial Q_{km}}{\partial \theta_m} & \dots & \frac{\partial Q_{km}}{\partial V_k} & \dots & \frac{\partial Q_{km}}{\partial V_m} & \dots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \dots & 0 & \dots & 0 & \dots & \frac{\partial V_k}{\partial V_k} & \dots & 0 & \dots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots
 \end{bmatrix}$$

Figura 2.4: Estrutura da matriz Jacobiana

As derivadas parciais das medidas de fluxo de potência ativa e reativa, em relação às variáveis de estado, são apresentadas nas equações (2.33) e (2.34) respectivamente.

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial P_{km}}{\partial \theta_k} &= a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot g_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\
 &\quad - a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot b_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) \\
 \frac{\partial P_{km}}{\partial \theta_m} &= -a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot g_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\
 &\quad + a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot b_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) \\
 \frac{\partial P_{km}}{\partial V_k} &= 2 \cdot a_{km}^2 \cdot V_k \cdot g_{km} - a_{km} \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot g_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\
 &\quad - a_{km} \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot b_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) \\
 \frac{\partial P_{km}}{\partial V_m} &= -a_{km} \cdot a_{mk} \cdot V_k \cdot g_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\
 &\quad - a_{km} \cdot a_{mk} \cdot V_k \cdot b_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk})
 \end{aligned} \tag{2.33}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial Q_{km}}{\partial \theta_k} &= -a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot b_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\
 &\quad - a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot g_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) \\
 \frac{\partial Q_{km}}{\partial \theta_m} &= a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot b_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\
 &\quad + a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot g_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) \\
 \frac{\partial Q_{km}}{\partial V_k} &= -2 \cdot a_{km}^2 \cdot V_k \cdot (b_{km} + b_{km}^{sh}) + a_{km} \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot b_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\
 &\quad - a_{km} \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot g_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) \\
 \frac{\partial Q_{km}}{\partial V_m} &= a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot b_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\
 &\quad - a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot g_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk})
 \end{aligned} \tag{2.34}$$

As derivadas parciais das medidas de injeção de potência ativa e reativa, em relação às variáveis de estado, são apresentadas nas equações (2.35) e (2.36) respectivamente.

$$\begin{aligned}
\frac{\partial P_k}{\partial \theta_k} &= \sum_{m \in \Omega_k} a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot g_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\
&\quad - \sum_{m \in \Omega_k} a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot b_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) \\
\frac{\partial P_k}{\partial \theta_m} &= -a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot g_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\
&\quad + a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot b_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) \\
\frac{\partial P_k}{\partial V_k} &= \sum_{m \in \Omega_k} 2 \cdot a_{km}^2 \cdot V_k \cdot g_{km} - \sum_{m \in \Omega_k} a_{km} \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot g_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\
&\quad - \sum_{m \in \Omega_k} a_{km} \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot b_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) \\
\frac{\partial P_k}{\partial V_m} &= -a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot g_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\
&\quad - a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot b_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk})
\end{aligned} \tag{2.35}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial Q_k}{\partial \theta_k} &= - \sum_{m \in \Omega_k} a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot b_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\
&\quad - \sum_{m \in \Omega_k} a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot g_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) \\
\frac{\partial Q_k}{\partial \theta_m} &= a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot b_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\
&\quad + a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot g_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) \\
\frac{\partial Q_k}{\partial V_k} &= -2 \cdot V_k \cdot b_k^{sh} - \sum_{m \in \Omega_k} 2 \cdot a_{km}^2 \cdot V_k \cdot (b_{km} + b_{km}^{sh}) + \\
&\quad + \sum_{m \in \Omega_k} a_{km} \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot b_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\
&\quad - \sum_{m \in \Omega_k} a_{km} \cdot a_{mk} \cdot V_m \cdot g_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) \\
\frac{\partial Q_k}{\partial V_m} &= a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot b_{km} \cdot \cos(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk}) + \\
&\quad - a_{km} \cdot V_k \cdot a_{mk} \cdot g_{km} \cdot \sin(\theta_{km} + \varphi_{km} - \varphi_{mk})
\end{aligned} \tag{2.36}$$

As derivadas parciais das medidas de magnitude de tensão, em relação às variáveis de estado, são:

$$\frac{\partial V_k}{\partial \theta_k} = 0; \quad \frac{\partial V_k}{\partial \theta_m} = 0; \quad \frac{\partial V_k}{\partial V_k} = 1; \quad \frac{\partial V_k}{\partial V_m} = 0 \tag{2.37}$$

Capítulo 3

Metodologia geométrica para o EE: processamento de EGs

Neste capítulo apresenta-se o índice de não detectabilidade de erro (*UI*) apresentado em Bretas et al. (2009) que classifica as medidas, fornecidas ao EE, de acordo com as suas características de *maskarar* o erro das medidas. O mascaramento de erros em medidas pode provocar o funcionamento inadequado do EE, isso porque as medidas com erro mascarado nem sempre são detectadas e identificadas na estimação, assim os valores das variáveis de estado estimadas não são corretos. Mostram-se neste capítulo que as medidas com *UI* elevado são medidas cujos erros têm uma componente mascarada também elevada. Neste capítulo será proposto também o Índice de Inovação (*II*), que, juntamente com outros conceitos tais como o do Erro Normalizado Composto (*ENC*), serão utilizados para que uma análise eficiente dos erros em um conjunto de medidas seja possível.

3.1 Medidas com alto índice de não detectabilidade de erro

De acordo com o mencionado no capítulo anterior, o EE possui a função de estimar, em tempo real, as variáveis de estados do SEP, através do processamento de um conjunto de medidas redundantes com ruído. Usualmente esse conjunto de medidas é formado por medidas de amplitude de tensão, injeção e fluxo de potência ativa e reativa.

Uma função importante do EE é o processamento de EG, onde é possível, detectar e identificar as medidas com erros.

A detecção e identificação das medidas que mascaram o erro, é feita na análise do *UI*, onde é possível classificar as medidas, de acordo com suas

características de esconder o erro. As medidas com UI elevado, são aquelas cujos erros são mais difíceis de serem detectados. Assim, se uma medida z_1 possui UI maior que uma medida z_2 , o EE será mais sensível a erros na medida z_2 , independentemente se estas medidas possuem ou não a mesma redundância. Por exemplo, um erro de 20σ pode ser detectável para a medida z_2 , mas não para medida z_1 .

De uma forma geral, o UI de uma medida é definido como a relação entre a parcela do erro que a medida esconde e a parcela que não esconde.

3.2 Índice de não detectabilidade de erros

A seguir é apresentada uma interpretação geométrica dos erros das medidas para o EE WLS, onde é possível compreender porque algumas medidas apresentam a característica de esconder erro.

Interpretação geométrica

Geometricamente, o estimador linear, também conhecido como estimador CC (ABUR & EXPÓSITO, 2004), baseado no método dos Mínimos Quadrados Ponderados, pode ser visto como uma matriz de projeção P , aplicada ao vetor de medidas z , conforme ilustrado na Figura 3.1 (BRETAS et al, 2009; BENEDITO, 2011), onde $\hat{z}$ é o vetor de medidas estimadas.

A matriz de projeção P apresentada no capítulo 2 é dada por:

$$P = H \cdot G^{-1} \cdot H^T \cdot R^{-1} = H \cdot (H^T \cdot R^{-1} \cdot H)^{-1} \cdot H^T \cdot R^{-1}.$$

Através de projeções ortogonais, definidas pela equação da matriz de projeção, em Bretas et al. (2009) mostrou-se que erros em medidas que são muito próximas da imagem da matriz Jacobiana $\Re(H)$, em relação a outras medidas, são de difícil detecção, quando usado o teste do maior resíduo normalizado ou o teste da função objetivo do EE (índice $J(x)$).

Figura 3.1: Interpretação Geométrica

Outra forma de visualizar a proximidade de uma medida a $\Re(H)$ é através da definição do UI .

A decomposição do espaço vetorial das medidas em uma soma direta de $\Re(H)$ e $\Re(H)^\perp$, onde $\Re(H)^\perp$ é o espaço ortogonal ao espaço imagem da matriz Jacobiana, será utilizada para decompor o vetor de erro de medidas “e” em duas componentes: detectável e a não-detectável. Considerando o modelo linearizado apresentado no capítulo 2, onde $\Delta x_{sem_EG} = x_{sem_EG} - \hat{x}$ e $\Delta z_{sem_EG} = H \cdot \Delta x_{sem_EG}$, sendo x_{sem_EG} o vetor de estados sem EG e $z_{sem_EG} = h(x_{sem_EG})$ o vetor de medidas sem EG. Se a matriz jacobiana H disponível está próxima da obtida pelos estados sem EG, então z_{sem_EG} está em $\Re(H)$, e como consequência $\Delta z_{sem_EG} = z_{sem_EG} - \hat{z}$. O vetor de erros de medidas é dado por $e = z - z_{sem_EG} \approx \Delta z - \Delta z_{sem_EG}$, e pode ser diretamente escrito como $e = P \cdot e + (I - P) \cdot e$.

Denominando e_u e e_d como as componentes não detectáveis e detectáveis do vetor de erro de medidas “e” dados por:

$$e_u := P \cdot e \quad (3.1)$$

$$e_d := (I - P) \cdot e \quad (3.2)$$

Assim, o vetor de erro de medidas pode ser reescrito como $\mathbf{e} = \mathbf{e}_U + \mathbf{e}_D$, com $\mathbf{e}_U \in \mathfrak{R}(H)$ e $\mathbf{e}_D$ ortogonal a $\mathfrak{R}(H)$, ou seja, $\mathbf{e}_D \in \mathfrak{R}(H)^\perp$, dessa forma,

$$\|\mathbf{e}\|_{R^1}^2 = \|\mathbf{e}_U\|_{R^1}^2 + \|\mathbf{e}_D\|_{R^1}^2 \quad (3.3)$$

Proposição 1: O vetor de resíduo r , associado ao EE WLS, não é afetado pela componente não-detectável $\mathbf{e}_U$ do vetor de erro das medidas.

Prova: O vetor das medidas sempre pode ser escrito como:

$$\Delta \mathbf{z} = \Delta \mathbf{z}_{\text{sem_EG}} + \mathbf{e} \approx \Delta \mathbf{z}_{\text{sem_EG}} + \mathbf{e}_U + \mathbf{e}_D \quad (3.4)$$

Como consequência, o vetor de resíduo é expresso por:

$$\begin{aligned} r &= (I - P) \cdot \Delta \mathbf{z} \approx (I - P) \cdot \Delta \mathbf{z}_{\text{sem_EG}} + (I - P) \cdot \mathbf{e} \\ r &= (I - P) \cdot \Delta \mathbf{z}_{\text{sem_EG}} + (I - P) \cdot \mathbf{e}_U + (I - P) \cdot \mathbf{e}_D \end{aligned} \quad (3.5)$$

Como $\Delta \mathbf{z}_{\text{sem_EG}}$ está próximo de $\mathfrak{R}(H)$ e $\mathbf{e}_U \in \mathfrak{R}(H)$, então, $(I - P) \cdot \Delta \mathbf{z}_{\text{sem_EG}} \cong 0$ e $(I - P) \cdot \mathbf{e}_U = 0$, consequentemente a equação 3.5 torna-se:

$$r = (I - P) \cdot \Delta \mathbf{z} \approx (I - P) \cdot \mathbf{e}_D \approx \mathbf{e}_D \quad (3.6)$$

O teste do maior resíduo normalizado é geralmente empregado para verificar a existência de EG em um conjunto de medidas. Porém, pequenos resíduos normalizados não implicam em pequenos erros nas medidas, pois o resíduo da medida não é afetado pela componente não-detectável dos erros conforme a prova acima. Então, o resíduo da medida não muda se um erro extra que se encontra no espaço vetorial $\mathfrak{R}(H)$ for adicionado ao vetor de medidas. Em outras palavras, quando o valor do maior resíduo normalizado não é suficiente para detectar EG, pode-se afirmar, com certo grau de confiança, que apenas a componente detectável do erro em todas as medidas disponíveis é pequena. Como consequência, o teste do maior resíduo normalizado, pode muitas vezes falhar na detecção de EG para

medidas que tenham uma grande componente não-detectável. Entretanto, se é fornecida informações adicionais ao EE, é possível relacionar o resíduo e as componentes dos erros nas medidas.

A proposição acima indica que a dificuldade ou a impossibilidade de se detectar EG em algumas medidas, é devido à alta razão entre as componentes não detectáveis e detectáveis dos seus erros, ou seja, $\frac{\|e_U\|}{\|e_D\|}$, onde $\|e_U\|$ é a norma euclidiana de e_U .

Desta forma, o *UI* é definido como sendo a razão entre as componentes do erro. Assim, suponha a existência de um erro simples na i -ésima medida, isto é,

$$e_i = b \cdot \delta_i \quad (3.7)$$

Sendo o vetor $\delta_i = [0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0]^T$ e b um escalar qualquer representando a amplitude do erro. Através das equações (3.1) e (3.2) as componentes do erro são calculadas:

$$e_{U_i} = P \cdot e_i \quad (3.8)$$

$$e_{D_i} = (I - P) \cdot e_i \quad (3.9)$$

Assim *UI* para i -ésima medida (BENEDITO, 2011) é calculado por:

$$UI_i = \frac{\|e_{U_i}\|_{R^{-1}}}{\|e_{D_i}\|_{R^{-1}}} = \frac{\sqrt{P_{ii}}}{\sqrt{(1-P_{ii})}} \quad (3.10)$$

Onde P_{ii} é o elemento da diagonal principal da matriz de projeção P .

Analisando a equação 3.10, verifica-se que, o *UI* não depende, diretamente, da amplitude do erro da medida, mas sim das matrizes de projeção e sensibilidade. Isso porque a componente não-detectável do erro está diretamente relacionada com

a matriz de projeção P , ou, com $\Re(H)$, enquanto que a componente detectável está relacionada com a matriz de sensibilidade $(I-P)$, ou, com $\Re(H)^\perp$.

Assim uma medida com valor elevado de UI , indica que uma grande parcela do seu erro será *mascarado* no processo de EE. Desta forma, o erro na medida vai contribuir pouco (ou quase nada) para o valor do seu resíduo.

A seguir são expostos dois exemplos, sendo um com UI baixo, e outro com UI alto.

A diferença entre medidas com altos e baixos UI , é vista, considerando o sistema de 2 barras apresentado na Figura 3.2. Os parâmetros deste sistema e a ponderação das medidas de fluxo são considerados de forma que a medida z_1 tenha alto UI e a medida z_2 baixo UI . Nesta situação, se a medida z_1 for portadora de EG, esse erro vai ser de difícil detecção, pois o resíduo dessa medida será baixo (veja Figura 3.3). Isto ocorre porque a componente detectável do erro da medida z_1 é muito pequena, ou, em outras palavras, ele apresenta um UI elevado. Por outro lado, se a medida z_2 for portadora de EG, tendo em vista que a componente detectável do erro dessa medida seja superior à componente não-detectável, pois ela apresenta baixo UI , então essa medida vai apresentar um resíduo elevado, tornando possível a detecção de EG (veja Figura 3.4).

Figura 3.2: Sistema de 2 Barras

Figura 3.3: Exemplo de EG, em medidas com alto UI Figura 3.4: Exemplo de EG, em medidas com baixo UI

Na próxima seção é apresentado o conceito de inovação e o índice de inovação, o qual se baseia nas componentes detectáveis e não detectáveis dos erros de medidas, para detectar e identificar medidas portadoras de EG.

3.3 Conceito da inovação e índice de inovação

Com objetivo de propor o Índice de Inovação (I) para identificar as medidas que mascaram o erro no processo estatístico de EE, é necessário uma adaptação da definição de inovação existente em sistemas dinâmicos para os sistemas estáticos.

Definição: A inovação de uma medida (BRETAS et al., 2010), no problema de EE estático, pode ser definida como a nova informação que essa medida contém, em relação às outras medidas do sistema, ou seja, a informação não contida nas outras medidas; essa definição sugere que a inovação esteja contida na parcela da medida que é independente das outras medidas do sistema, isto é, a parcela que não pode ser obtida a partir de combinações lineares das linhas do Jacobiano referente às medidas anteriores.

Como consequência, a informação nova contida em uma medida, é a parte da medida que é ortogonal a imagem da matriz jacobiana relacionada com conjunto de medidas do sistema. Assim essa informação nova será a projeção ortogonal da medida na imagem da matriz jacobiana, ou seja, pertence a $\mathcal{R}(H)^\perp$.

Assim sendo, no caso de uma medida conter EG, a componente ortogonal à imagem da matriz jacobiana mostrará a componente do erro através do resíduo da medida, a outra componente será mascarada. Desta forma, o vetor de erros mascarados do processo de EE é o vetor de erros das medidas que está contido na imagem da matriz jacobiana, ou seja, pertence a $\mathcal{R}(H)$.

Como consequência, sendo o erro detectável da medida conhecido através do resíduo da medida (BRETAS et al., 2010), e sendo as componentes do erro ortogonais entre si (parte não-detectável e detectável), a composição do vetor de

erros das medidas é obtida, como apresentado anteriormente, através da expressão 3.3, e aqui reescrito:

$$\|\mathbf{e}\|_{R^1}^2 = \|\mathbf{e}_U\|_{R^1}^2 + \|\mathbf{e}_D\|_{R^1}^2 \rightarrow \|\mathbf{e}_i\|_{R^1}^2 = \|\mathbf{e}_{U_i}\|_{R^1}^2 + \|\mathbf{e}_{D_i}\|_{R^1}^2 \quad (3.11)$$

Este vetor de erros é a partir de agora denominado de Erro Composto das Medidas (*EC*).

Com objetivo de encontrar o erro mascarado e então compor o erro total de medida (BRETAS et al., 2010), é utilizado o Índice de Inovação (*II*), que é proposto como sendo:

$$II_i = \frac{\|\mathbf{e}_{D_i}\|_{R^1}}{\|\mathbf{e}_{U_i}\|_{R^1}} \quad (3.12)$$

Sabendo que os dois vetores: $\Re(H)$ e $\Re(H)^\perp$ são ortogonais entre si, então é possível recalculer o erro composto da *i-ésima* medida. Como consequência, a equação 3.11 torna-se:

$$\|\mathbf{e}_i\|_{R^1}^2 = \frac{1}{II_i^2} \cdot \|\mathbf{e}_{D_i}\|_{R^1}^2 + \|\mathbf{e}_{D_i}\|_{R^1}^2 \quad (3.13)$$

Isto é

$$\|\mathbf{e}_i\|_{R^1}^2 = (1 + 1/II_i^2) \cdot \|\mathbf{e}_{D_i}\|_{R^1}^2 = (1 + 1/II_i^2) \cdot r_i^2 \quad (3.14)$$

Ou ainda

$$EC_i = r_i \cdot \sqrt{(1 + 1/II_i^2)} \quad (3.15)$$

com r_i , sendo o resíduo da *i-ésima* medida e II_i o Índice de Inovação desta medida, ambos com valores conhecidos.

Se normalizarmos o resíduo e então fazermos a composição do erro, chega-se ao que designamos de Erro Normalizando Composto (*ENC*), dado por:

$$ENC = \frac{EC}{\sqrt{\Omega_{ii}}} = \frac{r_i \cdot \sqrt{(1 + 1/II_i^2)}}{\sqrt{\Omega_{ii}}} = r_i^N \cdot \sqrt{(1 + 1/II_i^2)} \quad (3.16)$$

Com r_i^N , sendo o resíduo normalizado da i -ésima medida.

A equação 3.12 é reescrita a seguir, em termos das matrizes de projeção e de sensibilidade.

$$II_i = \frac{\|e_{Di}\|_{R^{-1}}}{\|e_{Ui}\|_{R^{-1}}} = \frac{\sqrt{(1 - P_{ii})}}{\sqrt{P_{ii}}} \quad (3.17)$$

NOTA 3.1: Como pode ser visto na equação 3.17, o Índice de Inovação II não depende diretamente da amplitude da medida, mas depende da sua posição na imagem da matriz jacobiana bem como das matrizes de projeção e sensibilidade.

NOTA 3.2: Observe que o II é de fato o inverso do UI , conforme definido anteriormente, assim, ao contrário da definição do UI , quanto mais elevado o valor do II , mais informação a medida possui e consequentemente menor o mascaramento do erro na medida.

Portanto, a razão em se utilizar o índice II , é simplesmente pelo fato de se basear no conceito de inovação já bem conhecido no ambiente de estimação dinâmica de estado.

3.4 Proposição: novo teste de detecção e identificação de erros grosseiros

A seguir será apresentada uma nova proposta para detecção e identificação de EG no processo de EE para SEP.

A. Detecção de erros grosseiros: usando a distribuição χ^2 associada com o erro normalizado composto

Uma vez que a relação entre os ENC das medidas e seus resíduos se dá através de uma constante, então o índice $J(x)$ relacionado com o ENC terá também distribuição chi-quadrado. Portanto a detecção de EG utilizando o índice $J(x)$ é realizada da mesma forma como apresentado na subseção 2.3.3 do capítulo anterior, com seu valor sendo calculado pela seguinte equação.

$$J(x) = \sum_{i=1}^m \frac{ENC_i^2}{\Omega_{ij}} \quad (3.18)$$

Onde:

ENC_i : valor do erro normalizado composto da medida i .

Ω_{ij} : variância do resíduo da medida i .

m : número de medidas.

B. Recuperação de medidas que mascaram erros

Com objetivo de estimar a amplitude do ENC , o seguinte algoritmo é proposto:

- i) Simule o EE e calcule o vetor dos resíduos das medidas r , ($r = e_D$);
- ii) Calcule o ll de cada medida do plano de medição, $ll = \frac{\sqrt{(I-P)}}{\sqrt{P}}$;
- iii) Com esses dois vetores em mãos, calcule o ENC , $ENC_i = r_i^N \cdot \sqrt{(1 + 1/ll_i^2)}$.

C. Teste de detecção de erros grosseiros

Aplicar o mesmo conceito do teste do resíduo normalizado apresentado na subseção 2.3.4 do capítulo anterior, porém, ao invés de usar o resíduo normalizado, deve-se utilizar o novo teste de detecção de erro através do *ENC*, conforme apresentado acima.

- i) Caso não seja detectado EG, pare o processamento, caso contrário siga ao próximo passo;
- ii) Uma vez que o EG foi detectado, a identificação de qual medida é a portadora de EG, deve ser verificada, essa proposição é apresentada a seguir.

D. Medidas suspeitas de possuírem erros grosseiros

As metodologias disponíveis para identificação de medidas portadoras de EG, usam um valor limiar máximo “limite máximo” de três desvios padrões do valor da medida, com objetivo de detectar quais medidas são suspeitas de possuírem EG. Isto é, presume-se que todas as medidas têm as mesmas características quando se refere ao comportamento dos erros grosseiros.

Neste estudo, em contrapartida, considera-se que o comportamento das medidas quando se refere aos erros grosseiros, são em função da topologia, do peso, e das amplitudes das medidas.

Assim, as relações entre a composição do erro de medidas e seus resíduos são apenas através de constantes multiplicadas pelos resíduos das medidas. Como consequência, o índice $J(x)$ usando o resíduo normalizado da medida ou *ENC* possui a mesma distribuição χ^2 e como consequência, um correspondente *Valor Limite* (do inglês *Threshold Value: TV*) para detectar uma medida com sendo suspeita de possuir EG:

Esse valor limite (*TV*) é calculado por:

$$TV = 3 \cdot \sqrt{\left(1 + 1/II_i^2\right)} \quad (3.19)$$

A equação do TV é a mesma do ENC , apenas substituindo o valor do resíduo normalizado por três. O valor três é usado com intuito de correlacionar a metodologia proposta neste trabalho, com a metodologia clássica de identificação de EG baseado na análise do resíduo normalizado, pois no método clássico todas as medidas são tratadas como sendo uniformes, isto é, com a mesma chance de identificar corretamente a medida com EG. Assim pode-se dizer que o valor limite TV é a correção do teste de identificação de EG clássico.

NOTA 3.3: Como consequência, as medidas suspeitas de possuírem EG, serão as que possuírem o ENC superior ao TV correspondente.

Este resultado é bastante natural, pois cada medida de um conjunto de medidas tem as suas próprias características de mascaramento de erro.

E. Medidas com erro grosseiro, filtragem e identificação

Foi observado que quando é adicionado EG em uma medida, o erro pode aparecer em medidas redundantes, pois o valor do ENC na medida redundante pode ser maior do que na medida em que realmente está o EG. Para resolver este problema é proposto um Filtro (FI), que informa qual é a medida com maior chance de possuir o erro.

O FI somente é calculado para as medidas suspeitas de possuírem EG, ou seja, para medidas cujo ENC é maior ou igual ao TV correspondente.

O valor do FI para medidas suspeitas de possuírem o EG é calculado seguindo a equação abaixo.

$$FI_i = (|ENC_i| - |TV_i|) \cdot II_i \quad (3.20)$$

O calculo do FI é necessário, pois o ENC é obtido a partir do resíduo normalizado e, por conseguinte, apresenta correlação entre eles. Então o ENC está no espaço dos resíduos das medidas. Assim, sabendo que na metodologia clássica todas as medidas são tratadas como se tivessem as mesmas características quando se refere ao comportamento dos erros grosseiros, então a busca pelo EG é feito através de hiper-esferas, porém as medidas não possuem as mesmas

características quando possuem EG, então a busca pelo EG deve ser feito através de hiper-elipsóides.

Neste contexto, os valores dos *TVs* representam as intersecções das hiper-elipsóides nas diferentes direções das medidas.

Assim, com os valores dos *FI* das medidas suspeitas, é possível identificar qual é a medida que contém o EG. Ou seja, entre duas ou mais medidas redundantes a medida com maior *FI* terá maior chance de ser a medida portadora do EG.

Proposição 2: a hiper-esfera, no espaço dos resíduos das medidas, não é apropriada para identificar medidas contendo EG.

Demonstração:

Considere a função densidade de probabilidade, para distribuição normal multi-variável $X \sim N(\mu, \Sigma)$ dada por:

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^p |\Sigma|}} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} (X - \mu)^T \cdot \Sigma^{-1} \cdot (X - \mu) \right\}$$

Onde X e μ são os vetores das variáveis aleatórias e das médias destas variáveis respectivamente, Σ é a matriz de covariância, $|\Sigma|$ é o determinante da matriz Σ e p é o número de variáveis.

Considerando apenas duas variáveis X_1 e X_2 , têm-se então uma distribuição normal bi-variável. Neste caso a matriz de covariância reduz a:

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \rho\sigma_1\sigma_2 \\ \rho\sigma_1\sigma_2 & \sigma_2^2 \end{pmatrix}$$

Com ρ sendo a correlação entre as variáveis X_1 e X_2 . E sendo μ_1 e μ_2 as médias destas variáveis respectivamente, tem-se então:

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix} \sim N \left[\begin{pmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \rho\sigma_1\sigma_2 \\ \rho\sigma_1\sigma_2 & \sigma_2^2 \end{pmatrix} \right]$$

Para esta distribuição é possível verificar a forma gráfica e fazer algumas conclusões, por exemplo: veja na Figura (3.5) a forma gráfica de $f(X)$, considerando duas variáveis X_1 e X_2 com médias $\mu_1 = 0$ e $\mu_2 = 0$, desvios padrões $\sigma_1 = 0.003$ e $\sigma_2 = 0.003$ e correlação $\rho = 0.7$.

Figura 3.5: Forma gráfica de $f(X)$ com $\mu_1 = \mu_2 = 0$, $\sigma_1 = \sigma_2 = 0.003$ e $\rho = 0.7$

A vista de corte da função $f(X)$ apresentada na Figura (3.5) em relação ao plano das variáveis X_1 e X_2 é apresentada na Figura (3.6).

Figura 3.6: Vista de corte de $f(X)$ em relação ao plano X_1 e X_2 da Figura (3.5).

Analisando a Figura (3.6) verifica-se que o valor que delimita as variáveis X_1 e X_2 , tendo o mesmo raio, é diferente apesar de terem o mesmo desvio padrão ($\sigma_1 = \sigma_2 = 0.003$), ou seja, é representado por hiper-elipsóides. Isso acontece porque as variáveis possuem correlação ($\rho = 0.7$).

No entanto, veja na Figura (3.7) a forma gráfica de $f(X)$, quando as variáveis X_1 e X_2 têm o mesmo desvio padrão ($\sigma_1 = \sigma_2 = 0.003$), mas não possuem correlação ($\rho = 0.0$). Neste caso, o valor que delimita as variáveis X_1 e X_2 em qualquer direção é o mesmo (veja Figura (3.8)), ou seja, é representado por hiper-esferas.

Figura 3.7: Forma gráfica de $f(X)$ com $\mu_1 = \mu_2 = 0$, $\sigma_1 = \sigma_2 = 0.003$ e $\rho = 0.0$.

A vista de corte da função $f(X)$ apresentada na Figura (3.7) em relação ao plano das variáveis X_1 e X_2 é apresentada na Figura (3.8).

Figura 3.8: Vista de corte de $f(X)$ em relação ao plano X_1 e X_2 da Figura (3.7).

Como o resíduo de uma medida possui correlação com os resíduos de outras medidas, então a busca do EG no espaço dos resíduos das medidas deve ser feito considerando os raios da hiper-elipsóide, em outras palavras, deve-se calcular o raio da hiper-elipsóide em cada direção (semi-eixos), ou seja, calcular o *TV* de cada medida.

Algoritmo: Calculo do FI

- i) Deve-se tomar a medida com maior *FI* como a medida suspeita de possuir EG. Com a medida suspeita em mãos, faça sua correção através do *ENC*.
- ii) Após a correção da medida portadora de EG, simule novamente o EE e obtenha as variáveis de estados corretas (sem EG).

A correção da medida deve ser realizada aplicando a seguinte equação:

$$z_i = z_i - ENC_i \cdot \sigma_i \quad (3.21)$$

Onde:

z_i : valor da medida i .

ENC_i : erro normalizado composto da medida i .

σ_i : desvio padrão da medida i .

A seguir é apresentado o algoritmo completo e o fluxograma do novo teste de processamento de EG.

3.4.1 Algoritmo do novo teste

```

PARA:  $x^k = x^0$  // Inicializa as variáveis de estados "Flat Start"
    FAÇA // Enquanto  $ENC > TV$  (enquanto existe EG)
        Calcule  $\hat{x} = x^k$  // Processe o EE WLS e calcule  $\hat{x}$ 
        Calcule  $ENC$  // Calcule o valor do erro normalizado composto
        Calcule  $TV$  // Calcule o valor limiar de cada medida
        SE  $ENC > TV$  // DETECÇÃO DE EG
            Calcule  $FI$  // Calcule os  $FIs$  das medidas com  $ENC > TV$ 
            Corrija medida com maior  $FI$  // IDENTIFICAÇÃO DE EG
        FIM SE
    ENQUANTO  $ENC > TV$  // Fim do faça
FIM PARA

```

3.4.2 Fluxograma do algoritmo do novo teste

3.4.3 Exemplos numéricos

O sistema de 6 barras apresentado na Figura 3.9 é utilizado para explicar exemplos numéricos. Os parâmetros deste sistema assim como a sua topologia, foram obtidos a partir do sistema de 14 barras do IEEE, que por sua vez foi obtido no endereço eletrônico: www.ee.washington.edu/research/pstca/.

Os valores das medidas utilizadas para executar os testes seguintes, foram obtidos, resolvendo o Fluxo de Cargas (MONTICELLI, A., 1983). Essas medidas possuem distribuição gaussiana, com média assumida igual a zero e desvio padrão calculado a partir da equação 2.26 apresentada no capítulo anterior e re-escrita na equação 3.22.

$$\sigma_i = \frac{pr \cdot |z_i^{fc}|}{3} \quad (3.22)$$

Figura 3.9: Sistema Elétrico de Potência de 6 barras

Os valores e os correspondentes desvios padrões das medidas do sistema apresentado na Figura 3.9, estão expostos na tabela 3.1.

Com objetivo de mostrar a eficiência da nova metodologia de processamento de EG, incluindo “*detecção, identificação e correção*”, serão considerados três cenários de medidas disponíveis a partir da tabela 3.1. Onde cada cenário tem um Nível de Redundância Global (NRG), que é a proporção entre o número de medidas disponíveis e o número de variáveis de estado do sistema.

Exemplo: O NRG de um sistema de 6 barras, com 22 medidas disponíveis é igual a 2, pois o número de variáveis de estado é igual a 11 (seis amplitudes de tensão e cinco ângulos de fase), então $NRG = 22 / 11 = 2$.

Tabela 3.1: Sistema de 6 barras:
Valores das medidas e de seus desvios padrões

Medidas de Potência Ativa			Medidas de Potência Reativa		
Medida	Valor (pu)	σ (pu)	Medida	Valor (pu)	σ (pu)
Ia:1	1,490	0,01490	Ir:1	-0,037	0,00037
Ia:2	0,183	0,00183	Ir:2	0,120	0,00120
Ia:3	-0,942	0,00942	Ir:3	0,022	0,00022
Ia:4	-0,478	0,00478	Ir:4	0,039	0,00039
Ia:5	-0,076	0,00076	Ir:5	-0,016	0,00016
Ia:6	-0,112	0,00112	Ir:6	-0,140	0,00140
Fa:1-2	1,031	0,01031	Fr:1-2	-0,069	0,00069

Medidas de Potência Ativa			Medidas de Potência Reativa		
Medida	Valor (pu)	σ (pu)	Medida	Valor (pu)	σ (pu)
Fa:2-1	-1,013	0,01013	Fr:2-1	0,067	0,00067
Fa:1-5	0,459	0,00459	Fr:1-5	0,032	0,00032
Fa:5-1	-0,449	0,00449	Fr:5-1	-0,044	0,00044
Fa:2-3	0,625	0,00625	Fr:2-3	0,047	0,00047
Fa:3-2	-0,608	0,00608	Fr:3-2	-0,022	0,00022
Fa:2-4	0,343	0,00343	Fr:2-4	-0,006	0,00006
Fa:4-2	-0,337	0,00337	Fr:4-2	-0,012	0,00012
Fa:2-5	0,228	0,00228	Fr:2-5	0,011	0,00011
Fa:5-2	-0,225	0,00225	Fr:5-2	-0,040	0,00040
Fa:3-4	-0,334	0,00334	Fr:3-4	0,044	0,00044
Fa:4-3	0,342	0,00342	Fr:4-3	-0,038	0,00038
Fa:4-5	-0,483	0,00483	Fr:4-5	0,089	0,00089
Fa:5-4	0,486	0,00486	Fr:5-4	-0,079	0,00079
Fa:5-6	0,112	0,00112	Fr:5-6	0,147	0,00147
Fa:6-5	-0,112	0,00112	Fr:6-5	-0,140	0,00140
Medidas de Tensões					
Medida	Valor (pu)		σ (pu)		
V:1	1,060		0,01060		
V:2	1,045		0,01045		
V:3	1,010		0,01010		
V:4	1,025		0,01025		
V:5	1,028		0,01028		
V:6	1,070		0,01070		

Os cenários utilizados são:

Cenário 1: NRG=1.9;

Cenário 2: NRG=3.0;

Cenário 3: NRG=4.5.

As medidas escolhidas para os cenários 1, 2 e 3 estão apresentadas nas tabelas 3.2, 3.11 e 3.17 respectivamente.

NOTA 3.4: Em todos os testes realizados neste trabalho, é atribuído, para cada medida do conjunto de medidas, um ruído gaussiano (RG) que varia entre ± 3 desvios padrões. Isso garante testes mais realista, pois nos centros de operações esse valor de RG é comumente aceitável.

NOTA 3.5: Os valores das medidas apresentadas nas tabelas 3.1, 3.2, 3.11 e 3.17, não possuem RG , ou seja, o desvio padrão calculado pela equação 3.22, é obtido dos resultados do Fluxo de Carga. Então para cada teste, é adicionado RG nas medidas dessas tabelas.

Explicação: Cenário 1

As medidas seleccionadas para este cenário estão expostas, com seus valores e respectivos desvios padrões, na tabela 3.2.

Tabela 3.2: Sistema de 6 barras, **Cenário 1**:

Valor e desvio padrão das medidas

Medidas de Potência Ativa			Medidas de Potência Reativa		
Medida	Valor (pu)	σ (pu)	Medida	Valor (pu)	σ (pu)
Ia:1	1,490	0,01490	Ir:1	-0,037	0,00037
Ia:5	-0,076	0,00076	Ir:5	-0,016	0,00016
Fa:1-2	1,031	0,01031	Fr:1-2	-0,069	0,00069
Fa:5-1	-0,449	0,00449	Fr:5-1	-0,044	0,00044
Fa:2-3	0,625	0,00625	Fr:2-3	0,047	0,00047
Fa:2-4	0,343	0,00343	Fr:2-4	-0,006	0,00006
Fa:5-2	-0,225	0,00225	Fr:5-2	-0,040	0,00040
Fa:4-3	0,342	0,00342	Fr:4-3	-0,038	0,00038
Fa:4-5	-0,483	0,00483	Fr:4-5	0,089	0,00089
Fa:5-6	0,112	0,00112	Fr:5-6	0,147	0,00147
Medidas de Tensões					
Medida	Valor (pu)		σ (pu)		
V:1	1,060		0,01060		

Com os dados do sistema de 6 barras apresentado na Figura 3.9, bem como os valores da tabela 3.2 é simulado o EE, onde são obtidas as variáveis de estados que estão apresentadas na tabela 3.3.

Deve-se lembrar que os valores apresentados na tabela 3.3, foram obtidos com conjunto de medidas disponíveis adicionados de *RG*, isso pode fazer com que os valores das variáveis de estado estimadas do sistema variem em simulações diferentes, pois para cada simulação, um *RG* diferente é adicionado a cada medida.

Tabela 3.3: Sistema de 6 barras, **Cenário 1**:

Variáveis de estados estimadas

Barra	Modulo (pu)	Fase (rad)	Fase (graus)
1	1,064948	0,000	0,00
2	1,049863	-0,055693	-3,19
3	1,014860	-0,16947	-9,70
4	1,030214	-0,111276	-6,37
5	1,033113	-0,090895	-5,20
6	1,075418	-0,114587	-6,56

Inicialmente serão analisados o II e o ENC de cada medida (valores apresentados na tabela 3.4), pois nesse instante o único erro adicionado nas medidas é o RG , então a proposta deste trabalho não deve detectar EG. Após a análise inicial, será comprovado através dos valores do TV e do FI , que as medidas do sistema, realmente não possuem EG.

Segundo a metodologia clássica, uma medida é portadora de EG, quando ela desvia do valor “verdadeiro” (sem EG) de, no mínimo, três vezes sua variância, em outras palavras, a medida possui EG quando $(RN) \geq 3.0$, sendo RN o resíduo normalizado da medida. Na nova proposição para processamento de EG, uma medida é suspeita de possuir EG, quando $|ENC| \geq |TV|$ conforme algoritmo apresentado na subseção 3.4.1. Porém nos testes deste trabalho, para comparar o RN com o ENC , será considerado que a medida é suspeita de possuir EG se $|ENC| \geq 3.0$.

Então através dos resultados da tabela 3.4, pode-se dizer que as medidas **Ir:1**, **Ir:5** e **Fr:2-4**, são suspeitas de possuir EG, pois possuem $|ENC| \geq 3.0$. Veja que os II s destas medidas são valores menores do que um, ou seja, possuem pouca informação.

Tabela 3.4: Sistema de 6 barras, **Cenário 1**:

Valor do índice II e do ENC

Medidas de Potência Ativa			Medidas de Potência Reativa		
Medida	II	ENC	Medida	II	ENC
Ia:1	1,482471	-1,398429	Ir:1	0,405295	5,603045
Ia:5	0,122729	-2,793051	Ir:5	0,088402	6,209778
Fa:1-2	1,136668	0,058404	Fr:1-2	2,008726	-2,121341
Fa:5-1	2,38457	0,341243	Fr:5-1	0,731629	0,789845
Fa:2-3	2,542804	-0,65158	Fr:2-3	0,695461	1,700813
Fa:2-4	1,568524	0,184272	Fr:2-4	0,123962	-18,29636
Fa:5-2	1,304242	0,480738	Fr:5-2	1,487394	-1,60523
Fa:4-3	1,041674	-0,857032	Fr:4-3	0,463197	-2,35186
Fa:4-5	1,596218	-0,480573	Fr:4-5	0,666847	-1,635204
Fa:5-6	0,182482	1,932564	Fr:5-6	1,376477	-0,634619
Medidas de Tensões					
Medida	II		ENC		
V:1	3,903842		-0,152917		

Seguindo o pressuposto de que as medidas **Ir:1**, **Ir:5** e **Fr:2-4** são suspeitas de possuir EG, então é calculado os *TVs* destas medidas, estes valores são apresentados na tabela 3.5.

Analisando os valores apresentados na tabela 3.5, verifica-se que nenhum EG é detectado, pois $|ENC| < |TV|$, como esperado. Como o conjunto de medidas somente possuir *RG*, então é de se esperar que os *ENCs* devam estar dentro da hiper-elipsóide.

Tabela 3.5: Sistema de 6 barras, **Cenário 1**:
Valor do *II*, *ENC*, *TV* e *FI* das medidas suspeitas de possuir EG

Medida	<i>II</i>	<i>RN</i>	<i>ENC</i>	<i>TV</i>	<i>FI</i>
Fr:2-4	0,123962	-2,250824	-18,29636	24,38622	—
Ir:5	0,088402	0,546823	6,209778	34,06831	—
Ir:1	0,405295	2,104599	5,603045	7,98686	—

Os valores apresentados na tabela 3.6, ilustram o teste de “nível de detecção de EG” que corresponde em adicionar EG em uma medida “*i*”, inicialmente com 2,8 desvios padrões e aumentando esse erro com passos de 0,1, até que seja detectado o erro nessa medida, ou seja, até que $|ENC_i| \geq 3.0$ e $|ENC_i| \geq TV_i$.

Por exemplo, é necessário adicionar erro de 3,3 desvios padrões, para detectar EG na medida **la:1**.

Observe que o teste de nível de detecção de EG calcula os limites da hiper-elipsóides, onde esse valor é representado pelo *TV*.

A observação acima, garante para o teste de nível de detecção de EG, que o *ENC* somente será maior que o correspondente *TV* na primeira vez que $RN \geq 3.0$. Isso garante também a detecção de EG na metodologia clássica baseada no maior *RN*. Assim é possível comparar o verdadeiro valor do EG, que é o próprio *ENC*, com valor do EG da metodologia clássica, ou seja, comparar o *ENC* com *RN*.

Por exemplo, é necessário adicionar erro de 14,2 desvios padrões, para detectar EG na medida **Fa:5-6**, observe que o valor do *RN* dessa medida é igual a 3,005, ou seja, bem abaixo do valor do erro adicionado, já o *ENC* dessa medida é igual a 14,79, portanto não é exatamente o valor do erro adicionado porque as medidas possuem *RG*, porém com valor muito próximo do erro.

Tabela 3.6: Sistema de 6 barras, **Cenário 1:**

Nível de detecção de EG de cada medida

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Ia:1	3,3 x σ	1,53509	3,00186	3,58262	3,58040	0,00341
Ia:5	30,3 x σ	0,08536	3,00756	35,36272	35,27388	0,00758
Fa:1-2	3,5 x σ	1,17900	3,05411	4,00474	3,93379	0,08365
Fa:5-1	3,4 x σ	2,30613	3,06595	3,34179	3,26991	0,16576
Fa:2-3	3,1 x σ	2,63048	3,06341	3,27731	3,20947	0,17845
Fa:2-4	4,2 x σ	1,62134	3,04559	3,57828	3,52473	0,08684
Fa:5-2	3,8 x σ	1,25727	3,04261	3,88766	3,83322	0,06845
Fa:4-3	2,8 x σ	1,07753	3,49168	4,76365	4,09286	0,72279
Fa:4-5	3,8 x σ	1,53634	3,04438	3,63249	3,57953	0,08136
Fa:5-6	14,2 x σ	0,20748	3,00539	14,79386	14,76731	0,00551
Ir:1	7,8 x σ	0,37142	3,03357	8,71271	8,61629	0,03581
Ir:5	26,4 x σ	0,06562	3,00721	45,92815	45,81803	0,00723
Fr:1-2	3,0 x σ	1,94590	3,00626	3,38000	3,37296	0,01369
Fr:5-1	5,7 x σ	0,68441	3,03801	5,37896	5,31166	0,04606
Fr:2-3	5,9 x σ	0,73949	3,04848	5,12713	5,04559	0,06030
Fr:2-4	17,7 x σ	0,10234	3,01227	29,58640	29,46589	0,01233
Fr:5-2	3,5 x σ	1,42755	3,05662	3,73196	3,66283	0,09869
Fr:4-3	6,3 x σ	0,43788	3,00879	7,50120	7,47929	0,00959
Fr:4-5	5,1 x σ	0,69865	3,04898	5,32369	5,23817	0,05975
Fr:5-6	5,0 x σ	1,43744	3,06539	3,73421	3,65455	0,11450
V:1	3,1 x σ	4,00843	3,03384	3,12682	3,09195	0,13978

É possível concluir através dos resultados da tabela 3.6, que para medidas com $II > 1$ (medidas com ótimo nível de informação) a detecção do erro é obtida com EG entre 2,8 e 5,0 desvios padrões, já as medidas com $II < 0,5$ possuem certa inércia para detectar o erro grosseiro, como é o caso da medida **Ia:5** que precisou de 30,3 desvios padrões para detectar o EG.

Em relação ao *RN*, lembrando que o conjunto de medidas possui *RG*, conclui-se que as medidas com $II > 1,0$, as metodologias clássicas de detecção de EG baseadas no *RN* funcionariam, porém para medidas com $II < 1,0$, as metodologias clássicas não mostrariam o verdadeiro valor do EG.

Outro teste similar ao apresentado anteriormente é realizado e seus resultados são apresentados na tabela 3.7, esse teste consiste em adicionar EG de 10 desvios padrões em cada medida, uma por vez, processar o EE e calcular os valores de *II*, *RN*, *ENC*, *TV* e *FI*.

Comparando os resultados das tabelas 3.6 e 3.7 é possível concluir que os EGs das medidas cujo nível de detecção é menor que 10 desvios padrões, conforme os valores apresentados na tabela 3.6, foram detectados normalmente quando é

adicionado EG de 10 desvios padrões, veja os resultados na tabela 3.7. Entretanto, nas medidas cujo nível de detecção de EG é maior que 10 desvios padrões, os erros não foram detectados (veja os resultados nas tabelas 3.6 e 3.7). Isto porque $RN < 3,0$ e consequentemente o $|ENC| < |TV|$, o que de fato não poderia ser diferente.

Nos resultados apresentados na tabela 3.7, verifica-se que em todas as medidas com EG detectado, o valor do ENC é muito próximo do valor do erro adicionado na medida.

Tabela 3.7: Sistema de 6 barras, **Cenário 1:**
EG de 10σ em cada medida

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Ia:1	$10 \times \sigma$	1,63457	8,04125	9,42673	3,51689	9,66001
Ia:5	$10 \times \sigma$	0,10978	0,57298	5,25061	27,49086	—
Fa:1-2	$10 \times \sigma$	1,25311	7,54581	9,65402	3,83816	7,28788
Fa:5-1	$10 \times \sigma$	2,14925	9,85699	10,87170	3,30883	16,25452
Fa:2-3	$10 \times \sigma$	2,80538	8,73305	9,27128	3,18490	17,07462
Fa:2-4	$10 \times \sigma$	1,71086	7,46128	8,64235	3,47488	8,84083
Fa:5-2	$10 \times \sigma$	1,17522	8,46902	11,12006	3,93908	8,43922
Fa:4-3	$10 \times \sigma$	1,14840	8,30301	11,00972	3,97798	8,07524
Fa:4-5	$10 \times \sigma$	1,43683	8,88998	10,83112	3,65506	10,31080
Fa:5-6	$10 \times \sigma$	0,19946	2,22459	11,37289	15,33709	—
Ir:1	$10 \times \sigma$	0,36248	3,87992	11,38539	8,80331	0,93594
Ir:5	$10 \times \sigma$	0,07943	1,59348	20,12378	37,88649	—
Fr:1-2	$10 \times \sigma$	1,80505	10,00684	11,43988	3,42962	14,45889
Fr:5-1	$10 \times \sigma$	0,64864	5,69669	10,46824	5,51280	3,21432
Fr:2-3	$10 \times \sigma$	0,76696	5,25500	8,63487	4,92952	2,84186
Fr:2-4	$10 \times \sigma$	0,11166	2,07951	18,73920	27,03403	—
Fr:5-2	$10 \times \sigma$	1,32584	8,96060	11,22359	3,75765	9,89863
Fr:4-3	$10 \times \sigma$	0,42106	4,60301	11,86154	7,73072	1,73932
Fr:4-5	$10 \times \sigma$	0,73139	5,66975	9,60418	5,08180	3,30760
Fr:5-6	$10 \times \sigma$	1,50603	6,75679	8,11066	3,60112	6,79151
V:1	$10 \times \sigma$	4,28002	8,96152	9,20287	3,08080	26,20261

Nas tabelas 3.8, 3.9 e 3.10, são apresentados os resultados de testes que consistem em atribuir EG aleatório em uma determinada medida do conjunto de medidas, ou seja, teste de EG simples.

No primeiro teste é adicionado EG de 14 desvios padrões na medida **Fr:5-6**. Após simular o EE, foram realizados os testes para detectar, identificar e corrigir a medida com EG usando o algoritmo proposto na subseção 3.4.1:

Seguindo a nova proposição, é observado que nove medidas do conjunto de medida são suspeitas de possuírem EG, pois possuem $|ENC| > 3,0$ (veja os

resultados apresentados na tabela 3.8). Das nove medidas, cinco possuem o $|ENC| > TV$, portanto o EG no conjunto de medidas é detectado, assim para essas medidas, foram calculados os FIs . Ao analisar os valores dos FIs , concluir-se que a medida **Fr:5-6** será identificada como portadora do EG, pois possui o maior FI , entre todas as medidas suspeitas. Observe nos resultados apresentados na tabela 3.8 que o valor do ENC é muito próximo do valor do erro adicionado na medida, porém, o valor do RN é bem abaixo do valor do erro.

A medida identificada como portadora do EG é corrigida e o EE é novamente processado. Os resultados obtidos e apresentados na tabela 3.8, mostram que três medidas ainda são suspeitas de possuir EG, mas como seus $|ENC| < TV$, então não existe EG no conjunto de medidas.

Tabela 3.8: Sistema de 6 barras, **Cenário 1:**

EG simples de 14σ na medida **Fr:5-6**

Medidas suspeitas de possuir EG com $ENC > 3$					
Medida	II	RN	ENC	TV	FI
Ir:5	0,08842	-11,55484	-131,19910	34,06343	8,58821
Fr:4-5	0,66657	-9,23705	-16,65393	5,40885	7,49568
Ia:5	0,12271	1,92002	15,76407	24,63114	–
Fr:5-6	1,37705	11,56775	14,29613	3,70758	14,58094
Fa:5-6	0,18245	-1,91438	-10,66565	16,71399	–
Fr:5-1	0,73545	4,24871	7,17117	5,06354	1,55005
Fr:5-2	1,48682	3,94305	4,75192	3,61542	1,68977
Fr:2-4	0,12388	0,53861	4,38093	24,40129	–
Ir:1	0,40540	-1,27627	-3,39704	7,98509	–
Medidas suspeitas de possuir EG com $ENC > 3$: Após Corrigir EG					
Medida	II	RN	ENC	TV	FI
Ia:5	0,12272	1,13406	9,31021	24,62898	–
Fa:5-6	0,18247	-1,12785	-6,28308	16,71252	–
Fr:2-4	0,12391	-0,49453	-4,02155	24,39603	–

No segundo teste de EG simples, é adicionado EG de -11 desvios padrões na medida **Fa:2-3**, o resultado desta simulação é apresentado na tabela 3.9. Verifique nos dados desta tabela, que o EG é detectado normalmente, e a medida identificada com EG é a própria medida cujo erro foi adicionado. Após corrigir a medida com EG, verifica-se que nenhuma medida suspeita possuir $|ENC| > TV$, portanto o conjunto de medidas não possui EG, veja a tabela 3.9. Nesse caso os valores do ENC e do

RN da medida com erro, estão próximos do valor do EG, porém o valor do *ENC* está mais próximo.

Tabela 3.9: Sistema de 6 barras, **Cenário 1:**EG simples de -11σ na medida **Fa:2-3**

Medidas suspeitas de possuir EG com <i>ENC</i> >3					
Medida	<i>II</i>	<i>RN</i>	<i>ENC</i>	<i>TV</i>	<i>FI</i>
Fr:2-4	0,12394	-3,21127	-26,10732	24,38970	0,21289
Fa:2-3	2,54140	-10,08243	-10,83488	3,22389	19,34260
Fr:4-3	0,46358	-4,23137	-10,06066	7,13291	1,35725
Ir:5	0,08840	-0,71974	-8,17332	34,06761	–
Fr:2-3	0,69620	4,02418	7,04310	5,25059	1,24794
Ia:5	0,12274	-0,74974	-6,15440	24,62625	–
Fa:5-6	0,18249	0,74974	4,17620	16,71067	–
Fa:5-2	1,30382	-2,56203	-3,22882	3,78078	–
Fa:4-3	1,04255	2,26825	3,14302	4,15697	–
Medidas suspeitas de possuir EG com <i>ENC</i> >3: Após Corrigir EG					
Medida	<i>II</i>	<i>RN</i>	<i>ENC</i>	<i>TV</i>	<i>FI</i>
Fr:2-4	0,12393	-1,15059	-9,35520	24,39227	–
Ir:5	0,08840	-0,68688	-7,80016	34,06798	–
Ia:5	0,12274	-0,57635	-4,73112	24,62631	–
Fa:5-6	0,18249	0,58251	3,24474	16,71071	–
Ir:1	0,40527	1,15459	3,07404	7,98737	–

No terceiro teste de EG simples é adicionado erro de -13 desvios padrões na medida **Ia:1**. Após análise dos resultados deste teste (veja a tabela 3.10), verifica-se que a medida com EG é identificada corretamente e após sua correção o sistema fica sem EG.

Tabela 3.10: Sistema de 6 barras, **Cenário 1:**EG simples de -13σ na medida **Ia:1**

Medidas suspeitas de possuir EG com <i>ENC</i> >3					
Medida	<i>II</i>	<i>RN</i>	<i>ENC</i>	<i>TV</i>	<i>FI</i>
Ia:1	1,48125	-10,95881	-13,22238	3,61966	14,22402
Fr:2-4	0,12378	-1,25217	-10,19346	24,42189	–
Fa:1-2	1,13540	7,57637	10,09596	3,99768	6,92399
Fr:5-1	2,38376	-3,54545	-3,84479	3,25329	1,41000
Fr:5-1	0,74302	2,01529	3,37905	5,03013	–
Medidas suspeitas de possuir EG com <i>ENC</i> >3: Após Corrigir EG					
Medida	<i>II</i>	<i>RN</i>	<i>ENC</i>	<i>TV</i>	<i>FI</i>
Ia:5	0,12273	1,84620	15,15596	24,62781	–
Fa:5-6	0,18248	-1,84067	-10,25361	16,71173	–
Ir:5	0,08841	-0,54641	-6,20488	34,06690	–
Ir:1	0,40525	-1,92159	-5,11631	7,98764	–
Fr:4-3	0,46364	-1,45230	-3,45267	7,13216	–
Fa:5-2	1,30412	-2,45638	-3,09541	3,78045	–

Para o cenário 1 todos os testes de EG simples, foram realizados em medidas com // superiores a um, isso para mostrar a eficiência da metodologia proposta nesse trabalho. Teste de EG simples para medidas com // “ruim”, ou seja, com // inferior a um será apresentado nos cenários 2 e 3.

Explicação: Cenário 2

O conjunto de medidas selecionadas para este cenário é apresentado na tabela 3.11. Já os resultados dos estados estimados são apresentados na tabela 3.12.

Tabela 3.11: Sistema de 6 barras, **Cenário 2:**

Valor e desvio padrão das medidas

Medidas de Potência Ativa			Medidas de Potência Reativa		
Medida	Valor (pu)	σ (pu)	Medida	Valor (pu)	σ (pu)
la:1	1,49	0,0149	lr:1	-0,037	0,00037
la:2	0,183	0,00183	lr:2	0,12	0,0012
la:5	-0,076	0,00076	lr:5	-0,016	0,00016
la:6	-0,112	0,00112	lr:6	-0,14	0,0014
Fa:1-2	1,031	0,01031	Fr:1-2	-0,069	0,00069
Fa:2-1	-1,013	0,01013	Fr:2-1	0,067	0,00067
Fa:5-1	-0,449	0,00449	Fr:5-1	-0,044	0,00044
Fa:2-3	0,625	0,00625	Fr:2-3	0,047	0,00047
Fa:2-4	0,343	0,00343	Fr:2-4	-0,006	0,00006
Fa:2-5	0,228	0,00228	Fr:2-5	0,011	0,00011
Fa:5-2	-0,225	0,00225	Fr:5-2	-0,04	0,0004
Fa:4-3	0,342	0,00342	Fr:4-3	-0,038	0,00038
Fa:4-5	-0,483	0,00483	Fr:4-5	0,089	0,00089
Fa:5-4	0,486	0,00486	Fr:5-4	-0,079	0,00079
Fa:5-6	0,112	0,00112	Fr:5-6	0,147	0,00147
Fa:6-5	-0,112	0,00112	Fr:6-5	-0,14	0,0014
Medidas de Tensões					
Medida	Valor (pu)		σ (pu)		
V:1	1,06		0,0106		

Tabela 3.12: Sistema de 6 barras, **Cenário 2:**

Variáveis de estados estimadas

Barra	Modulo (pu)	Fase (rad)	Fase (graus)
1	1,06103	0,00000	0,00
2	1,04603	-0,05565	-3,18
3	1,01104	-0,16963	-9,71
4	1,02642	-0,11138	-6,38
5	1,02927	-0,09095	-5,21
6	1,07114	-0,11473	-6,57

Os valores apresentados na tabela 3.13, mostram os resultados do teste de “nível de detecção de EG” de cada medida. Observe novamente que, para detectar o erro em medidas com $II < 1$ maior deve ser o valor do EG adicionado na medida. Analisando os valores do *ENC* e do *RN*, verifica-se novamente que, o erro adicionado na medida, apare com amplitude muito próxima do valor do *ENC*.

Tabela 3.13: Sistema de 6 barras, **Cenário 2:**

Nível de detecção de EG de cada medida

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Ia:1	3,5 x σ	3,54004	3,06951	3,18963	3,11740	0,25570
Ia:2	9,8 x σ	0,32840	3,02078	9,68176	9,61517	0,02187
Ia:5	16,3 x σ	0,14188	3,01156	21,43886	21,35660	0,01167
Ia:6	4,2 x σ	1,38434	3,03576	3,74497	3,70085	0,06107
Fa:1-2	3,2 x σ	3,40399	3,02798	3,15594	3,12678	0,09927
Fa:2-1	2,9 x σ	3,21473	3,01057	3,15286	3,14179	0,03557
Fa:5-1	2,9 x σ	3,39792	3,06610	3,19612	3,12722	0,23412
Fa:2-3	3,0 x σ	3,28099	3,05107	3,18964	3,13625	0,17517
Fa:2-4	4,0 x σ	2,75764	3,04553	3,23959	3,19116	0,13355
Fa:2-5	4,1 x σ	2,78373	3,03226	3,22198	3,18770	0,09543
Fa:5-2	2,8 x σ	2,62009	3,36556	3,60236	3,21108	1,02520
Fa:4-3	4,2 x σ	1,17476	3,03350	3,98372	3,93973	0,05168
Fa:4-5	2,8 x σ	2,17625	3,32163	3,65552	3,30156	0,77031
Fa:5-4	4,1 x σ	2,32298	3,01423	3,28166	3,26617	0,03598
Fa:5-6	4,3 x σ	1,49105	3,04708	3,66892	3,61223	0,08453
Fa:6-5	4,6 x σ	1,38384	3,07030	3,78806	3,70132	0,12003
Ir:1	6,5 x σ	0,43602	3,03735	7,59942	7,50597	0,04075
Ir:2	2,9 x σ	1,87537	3,05737	3,46487	3,39985	0,12193
Ir:5	36,5 x σ	0,09528	3,01390	31,77477	31,62820	0,01397
Ir:6	3,0 x σ	2,56613	3,03142	3,25346	3,21974	0,08653
Fr:1-2	2,9 x σ	2,40506	3,08071	3,33640	3,24899	0,21023
Fr:2-1	3,0 x σ	1,30023	3,07377	3,87772	3,78465	0,12100
Fr:5-1	2,8 x σ	1,34882	3,12047	3,88453	3,73456	0,20228
Fr:2-3	3,5 x σ	0,95725	3,02083	4,36853	4,33841	0,02884
Fr:2-4	6,7 x σ	0,35390	3,02956	9,08085	8,99224	0,03136
Fr:2-5	5,3 x σ	0,96426	3,06160	4,41074	4,32199	0,08558
Fr:5-2	3,2 x σ	2,17465	3,06232	3,37057	3,30199	0,14916
Fr:4-3	6,2 x σ	0,49775	3,02302	6,78414	6,73248	0,02572
Fr:4-5	3,4 x σ	2,26975	3,01466	3,29428	3,27826	0,03636
Fr:5-4	3,3 x σ	1,96723	3,08831	3,46442	3,36535	0,19489
Fr:5-6	3,2 x σ	2,78149	3,03319	3,22326	3,18799	0,09811
Fr:6-5	3,1 x σ	2,56638	3,02372	3,24515	3,21970	0,06533
V:1	3,4 x σ	5,43561	3,00287	3,05327	3,05035	0,01589

Seguindo o mesmo raciocínio do cenário 1, é atribuído também EG de 10 desvios padrões em cada medida, uma por vez, o resultado deste teste é apresentado na tabela 3.14. Analisando os resultados deste teste, verifica-se “como anteriormente”, que as medida com nível de detecção superior a 10 desvios padrões, não foi possível detectar o EG, pois $|ENC| < TV$, como já esperado, veja tabela 3.13. Nas demais medidas o EG foi detectado normalmente.

Tabela 3.14: Sistema de 6 barras, **Cenário 2:**
EG de 10σ em cada medida

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Ia:1	$10 \times \sigma$	3,76116	8,58423	8,88246	3,10422	21,73287
Ia:2	$10 \times \sigma$	0,32901	3,07774	9,84788	9,59914	0,08184
Ia:5	$10 \times \sigma$	0,15293	1,91215	12,64912	19,84541	—
Ia:6	$10 \times \sigma$	1,30053	8,26755	10,42902	3,78432	8,64165
Fa:1-2	$10 \times \sigma$	3,63033	8,86328	9,19339	3,11173	22,07841
Fa:2-1	$10 \times \sigma$	2,98328	10,57373	11,15195	3,16406	23,83012
Fa:5-1	$10 \times \sigma$	3,14403	10,99678	11,53962	3,14809	26,38319
Fa:2-3	$10 \times \sigma$	3,50586	9,06195	9,42339	3,11965	22,09999
Fa:2-4	$10 \times \sigma$	2,91772	8,08263	8,54417	3,17131	15,67649
Fa:2-5	$10 \times \sigma$	2,94163	7,96105	8,40848	3,16861	15,41377
Fa:5-2	$10 \times \sigma$	2,42492	11,01181	11,91141	3,24508	21,01515
Fa:4-3	$10 \times \sigma$	1,23539	6,96696	8,96340	3,85967	6,30508
Fa:4-5	$10 \times \sigma$	2,01483	10,71108	11,95778	3,34918	17,34482
Fa:5-4	$10 \times \sigma$	2,45505	7,85994	8,48696	3,23932	12,88319
Fa:5-6	$10 \times \sigma$	1,57097	7,22873	8,56900	3,55623	7,87491
Fa:6-5	$10 \times \sigma$	1,30477	7,99759	10,07633	3,77976	8,21556
Ir:1	$10 \times \sigma$	0,41944	4,56311	11,79720	7,75603	1,69504
Ir:2	$10 \times \sigma$	2,00230	8,63966	9,65722	3,35333	12,62226
Ir:5	$10 \times \sigma$	0,13396	-0,73765	-5,55580	22,59541	—
Ir:6	$10 \times \sigma$	2,38036	10,43299	11,31626	3,25398	19,19109
Fr:1-2	$10 \times \sigma$	2,22998	10,44176	11,44358	3,28783	18,18719
Fr:2-1	$10 \times \sigma$	1,38593	8,12587	10,02028	3,69940	8,76029
Fr:5-1	$10 \times \sigma$	1,24863	9,49544	12,16529	3,84352	10,39084
Fr:2-3	$10 \times \sigma$	1,01764	7,11315	9,97272	4,20604	5,86839
Fr:2-4	$10 \times \sigma$	0,34140	4,22284	13,07034	9,28547	1,29214
Fr:2-5	$10 \times \sigma$	1,00657	5,99375	8,44885	4,22883	4,24773
Fr:5-2	$10 \times \sigma$	2,02304	10,08211	11,24658	3,34650	15,98222
Fr:4-3	$10 \times \sigma$	0,47739	4,87286	11,31071	6,96350	2,07533
Fr:4-5	$10 \times \sigma$	2,41314	8,40352	9,09649	3,24739	14,11471
Fr:5-4	$10 \times \sigma$	1,83231	9,73948	11,09554	3,41770	14,06822
Fr:5-6	$10 \times \sigma$	2,96732	8,81148	9,29839	3,16578	18,19741
Fr:6-5	$10 \times \sigma$	2,38106	10,40464	11,28500	3,25384	19,12272
V:1	$10 \times \sigma$	5,78702	8,74048	8,87001	3,04446	33,71259

Os resultados apresentados na tabela 3.15, corresponde ao teste de EG simples em uma medida com II “ruim”, nesse teste é adicionado erro de 22 desvios padrões na medida **la:5**, cujo nível de detecção é de 18,5 desvios padrões (veja a tabela 3.13). Após processar o EE e analisar os resultados deste teste, verifica-se que as medidas **la:5** e **Fa:4-5** são suspeitas de possuir EG, pois possuem os respectivos $|ENC| > TV$, porém o EG é identificado na medida **la:5**, pois esta medida possui o maior FI . Após a correção do erro, três outras medidas ficam suspeitas de possuir EG, mas todas com $|ENC| < TV$, então não existe mais EG no conjunto de medidas.

NOTA 3.6: Todas as medidas, independente de possuir ou não bom II , têm seus erros identificados, porém, deve-se respeitar o nível de detecção de cada medida, isto não garante que a amplitude do erro aparecerá no valor do RN da medida, mas aparece com certa precisão no valor do ENC .

Tabela 3.15: Sistema de 6 barras, **Cenário 2:**EG simples de 22σ na medida **la:5**

Medidas suspeitas de possuir EG com $ENC > 3$					
Medida	II	RN	ENC	TV	FI
la:5	0,17041	4,85611	28,90780	17,85863	1,88286
Ir:5	0,14982	-2,94519	-19,87794	20,24784	–
Fr:4-3	0,52650	2,09846	4,50434	6,43951	–
Ir:1	0,46652	1,51388	3,58080	7,09596	–
Fa:4-5	2,24211	3,07766	3,36990	3,28486	0,19066
Fa:4-3	1,13229	2,52315	3,36629	4,00248	–
Fr:4-5	2,17297	-2,91570	-3,20964	3,30243	–
Medidas suspeitas de possuir EG com $ENC > 3$: Após Corrigir EG					
Medida	II	RN	ENC	TV	FI
Ir:5	0,14971	-2,81438	-18,99666	20,24957	–
Fr:4-3	0,52685	2,04996	4,39882	6,43741	–
Fa:4-3	1,12681	2,62620	3,50404	4,00279	–

Para finalizar a análise do cenário 2, adiciona-se erro de -14 desvios padrões na medida **Fr:2-1**, onde ao observar os resultados apresentados na tabela 3.16 é possível concluir que a nova proposta de processamento de EG, funciona também neste caso.

Tabela 3.16: Sistema de 6 barras, **Cenário 2:**EG simples de -14σ na medida **Fr:2-1**

Medidas suspeitas de possuir EG com $ENC > 3$					
Medida	<i>II</i>	<i>RN</i>	<i>ENC</i>	<i>TV</i>	<i>FI</i>
Fr:2-1	1,26951	-10,93083	-13,91473	3,81894	12,81672
Ia:2	0,29771	-2,83753	-9,94460	10,51399	–
Fr:5-1	1,40324	5,51356	6,77035	3,68384	4,33111
Ir:1	0,46757	-1,96973	-4,65046	7,08288	–
Ir:2	1,83725	3,52547	4,01386	3,41560	1,09917
Fr:1-2	2,47181	-3,50365	-3,77951	3,23621	1,34295
Fr:4-3	0,52808	-1,48034	-3,17010	6,42440	–
Medidas suspeitas de possuir EG com $ENC > 3$: Após Corrigir EG					
Medida	<i>II</i>	<i>RN</i>	<i>ENC</i>	<i>TV</i>	<i>FI</i>
Ir:5	0,14980	-1,90332	-12,84792	20,25079	–
Ia:2	0,29949	1,81647	6,33143	10,45673	–
Ia:5	0,17038	0,85931	5,11614	17,86134	–
Ir:1	0,46639	1,78636	4,22627	7,09758	–

Explicação: Cenário 3

No cenário 3, são consideradas todas as possíveis medidas do sistema, *NRG* o maior possível, as medidas deste cenário estão apresentadas na tabela 3.17, e os valores das variáveis de estado estimadas na tabela 3.18.

Tabela 3.17: Sistema de 6 barras, **Cenário 3:**

Valor e desvio padrão das medidas

Medidas de Potência Ativa			Medidas de Potência Reativa		
Medida	Valor (pu)	σ (pu)	Medida	Valor (pu)	σ (pu)
Ia:1	1,49	0,0149	Ir:1	-0,037	0,00037
Ia:2	0,183	0,00183	Ir:2	0,12	0,0012
Ia:3	-0,942	0,00942	Ir:3	0,022	0,00022
Ia:4	-0,478	0,00478	Ir:4	0,039	0,00039
Ia:5	-0,076	0,00076	Ir:5	-0,016	0,00016
Ia:6	-0,112	0,00112	Ir:6	-0,14	0,0014
Fa:1-2	1,031	0,01031	Fr:1-2	-0,069	0,00069
Fa:2-1	-1,013	0,01013	Fr:2-1	0,067	0,00067
Fa:1-5	0,459	0,00459	Fr:1-5	0,032	0,00032
Fa:5-1	-0,449	0,00449	Fr:5-1	-0,044	0,00044
Fa:2-3	0,625	0,00625	Fr:2-3	0,047	0,00047
Fa:3-2	-0,608	0,00608	Fr:3-2	-0,022	0,00022
Fa:2-4	0,343	0,00343	Fr:2-4	-0,006	0,00006
Fa:4-2	-0,337	0,00337	Fr:4-2	-0,012	0,00012
Fa:2-5	0,228	0,00228	Fr:2-5	0,011	0,00011
Fa:5-2	-0,225	0,00225	Fr:5-2	-0,04	0,0004
Fa:3-4	-0,334	0,00334	Fr:3-4	0,044	0,00044

Medidas de Potência Ativa			Medidas de Potência Reativa		
Medida	Valor (pu)	σ (pu)	Medida	Valor (pu)	σ (pu)
Fa:4-3	0,342	0,00342	Fr:4-3	-0,038	0,00038
Fa:4-5	-0,483	0,00483	Fr:4-5	0,089	0,00089
Fa:5-4	0,486	0,00486	Fr:5-4	-0,079	0,00079
Fa:5-6	0,112	0,00112	Fr:5-6	0,147	0,00147
Fa:6-5	-0,112	0,00112	Fr:6-5	-0,14	0,0014

Medidas de Tensões		
Medida	Valor (pu)	σ (pu)
V:1	1,06	0,0106
V:2	1,045	0,01045
V:3	1,01	0,0101
V:4	1,025	0,01025
V:5	1,028	0,01028
V:6	1,07	0,0107

Tabela 3.18: Sistema de 6 barras, **Cenário 3:**

Variáveis de estados estimadas

Barra	Modulo (pu)	Fase (rad)	Fase (graus)
1	1,06267	0,00000	0,00
2	1,04767	-0,05555	-3,18
3	1,01269	-0,16949	-9,71
4	1,02808	-0,11104	-6,36
5	1,03093	-0,09068	-5,19
6	1,07296	-0,11436	-6,55

Os valores do teste de nível de detecção de EG são apresentados na tabela 3.19. A conclusão para este cenário é a mesma das apresentadas nos cenários anteriores, ou seja, quanto melhor o // melhor o nível de detecção. Essa conclusão também vale para o teste onde é atribuído EG de 10 desvios padrões em cada medida, uma por vez, pois a medida com nível de detecção maior que os 10 desvios padrões, também aqui não foram detectados, veja os resultados apresentados na tabela 3.20.

Tabela 3.19: Sistema de 6 barras, **Cenário 3:**

Nível de detecção de EG de cada medida

Medida	EG	//	RN	ENC	TV	FI
Ia:1	3,2 x σ	4,40691	3,05450	3,13215	3,07627	0,24629
Ia:2	6,8 x σ	0,40727	3,00955	7,97893	7,95361	0,01031
Ia:3	2,9 x σ	3,77068	3,09849	3,20561	3,10371	0,38423
Ia:4	3,7 x σ	1,46767	3,07200	3,71730	3,63018	0,12786
Ia:5	13,4 x σ	0,18022	3,01928	17,02284	16,91414	0,01959
Ia:6	3,9 x σ	1,39527	3,05298	3,75612	3,69094	0,09094
Fa:1-2	3,3 x σ	4,17400	3,05133	3,13768	3,08490	0,22032

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Fa:2-1	3,0 x σ	3,95597	3,04250	3,13821	3,09437	0,17343
Fa:1-5	3,3 x σ	4,72163	3,07155	3,13968	3,06655	0,34533
Fa:5-1	3,0 x σ	4,46882	3,10068	3,17737	3,07419	0,46107
Fa:2-3	3,6 x σ	4,87162	3,03213	3,09535	3,06255	0,15977
Fa:3-2	2,8 x σ	4,63978	3,05174	3,12182	3,06889	0,24558
Fa:2-4	3,2 x σ	4,07299	3,03242	3,12248	3,08910	0,13597
Fa:4-2	2,9 x σ	3,85844	3,08783	3,18984	3,09912	0,35006
Fa:2-5	3,2 x σ	4,04076	3,05706	3,14928	3,09050	0,23750
Fa:5-2	2,9 x σ	3,81812	3,04649	3,14925	3,10119	0,18349
Fa:3-4	3,0 x σ	2,45835	3,03140	3,27260	3,23871	0,08332
Fa:4-3	3,6 x σ	2,57048	3,08422	3,30939	3,21903	0,23229
Fa:4-5	3,0 x σ	3,01625	3,06636	3,23048	3,16058	0,21086
Fa:5-4	3,4 x σ	3,20517	3,07136	3,21737	3,14262	0,23959
Fa:5-6	3,8 x σ	1,50219	3,01722	3,62462	3,60393	0,03107
Fa:6-5	4,0 x σ	1,39556	3,03620	3,73522	3,69068	0,06216
Ir:1	2,8 x σ	0,64449	3,36043	6,20317	5,53784	0,42880
Ir:2	3,7 x σ	2,23896	3,01896	3,30640	3,28563	0,04650
Ir:3	6,9 x σ	0,64966	3,00113	5,50882	5,50674	0,00135
Ir:4	4,8 x σ	0,97363	3,00246	4,30400	4,30048	0,00343
Ir:5	20,7 x σ	0,13130	3,00760	23,10303	23,04464	0,00767
Ir:6	3,0 x σ	3,14643	3,08790	3,24011	3,14787	0,29021
Fr:1-2	2,8 x σ	2,51720	3,19274	3,43546	3,22806	0,52205
Fr:2-1	3,8 x σ	1,84268	3,08173	3,50629	3,41330	0,17135
Fr:1-5	3,3 x σ	2,72518	3,07615	3,27672	3,19560	0,22106
Fr:5-1	3,2 x σ	2,84287	3,08116	3,26622	3,18019	0,24458
Fr:2-3	4,7 x σ	1,35374	3,04524	3,78600	3,72975	0,07614
Fr:3-2	4,0 x σ	1,59276	3,03650	3,58537	3,54227	0,06865
Fr:2-4	6,4 x σ	0,51515	3,01382	6,58104	6,55086	0,01555
Fr:4-2	3,7 x σ	1,00974	3,06991	4,32061	4,22222	0,09935
Fr:2-5	3,2 x σ	1,24054	3,01875	3,87742	3,85333	0,02988
Fr:5-2	3,1 x σ	3,82010	3,09368	3,19792	3,10109	0,36993
Fr:3-4	3,6 x σ	3,26989	3,04420	3,18338	3,13715	0,15114
Fr:4-3	3,1 x σ	2,32080	3,07736	3,35088	3,26665	0,19550
Fr:4-5	3,2 x σ	3,50995	3,06209	3,18394	3,11938	0,22662
Fr:5-4	3,1 x σ	2,90549	3,08513	3,26275	3,17271	0,26159
Fr:5-6	3,4 x σ	3,37414	3,09023	3,22309	3,12898	0,31754
Fr:6-5	2,9 x σ	3,14705	3,07228	3,22365	3,14781	0,23867
V:1	3,2 x σ	9,98380	3,03100	3,04616	3,01501	0,31100
V:2	3,2 x σ	9,93612	3,02833	3,04363	3,01516	0,28290
V:3	3,2 x σ	9,56229	3,02966	3,04618	3,01636	0,28515
V:4	3,2 x σ	9,85202	3,02775	3,04331	3,01541	0,27482
V:5	3,2 x σ	9,81782	3,02734	3,04300	3,01552	0,26979
V:6	3,2 x σ	9,57985	3,02746	3,04391	3,01630	0,26449

Tabela 3.20: Sistema de 6 barras, **Cenário 3:**
EG de 10σ em cada medida

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Ia:1	$10 \times \sigma$	4,70046	8,97732	9,17823	3,06714	28,72491
Ia:2	$10 \times \sigma$	0,41919	4,13289	10,69053	7,76010	1,22839
Ia:3	$10 \times \sigma$	3,48781	11,02941	11,47379	3,12087	29,13342
Ia:4	$10 \times \sigma$	1,37283	8,88556	10,99299	3,71152	9,99620
Ia:5	$10 \times \sigma$	0,18605	2,44467	13,36562	16,40172	—
Ia:6	$10 \times \sigma$	1,30684	8,55617	10,77377	3,77754	9,14296
Fa:1-2	$10 \times \sigma$	4,44464	8,81078	9,03103	3,07499	26,47248
Fa:2-1	$10 \times \sigma$	3,66954	10,78135	11,17451	3,10940	29,59523
Fa:1-5	$10 \times \sigma$	5,02875	8,88188	9,05579	3,05874	30,15764
Fa:5-1	$10 \times \sigma$	4,14635	10,88982	11,20205	3,08602	33,65193
Fa:2-3	$10 \times \sigma$	5,16732	8,47010	8,62725	3,05566	28,79019
Fa:3-2	$10 \times \sigma$	4,29799	10,99710	11,29083	3,08013	35,28955
Fa:2-4	$10 \times \sigma$	4,34525	8,96289	9,19718	3,07842	26,58755
Fa:4-2	$10 \times \sigma$	3,58230	10,73982	11,15042	3,11470	28,78641
Fa:2-5	$10 \times \sigma$	4,31168	9,00240	9,24135	3,07963	26,56737
Fa:5-2	$10 \times \sigma$	3,54139	10,79746	11,21968	3,11731	28,69363
Fa:3-4	$10 \times \sigma$	2,27311	10,47514	11,44399	3,27747	18,56342
Fa:4-3	$10 \times \sigma$	2,73358	8,43732	8,98416	3,19444	15,82670
Fa:4-5	$10 \times \sigma$	2,79909	10,58636	11,24167	3,18570	22,54938
Fa:5-4	$10 \times \sigma$	3,41030	8,67668	9,04201	3,12632	20,17431
Fa:5-6	$10 \times \sigma$	1,59127	7,63510	9,01757	3,54321	8,71121
Fa:6-5	$10 \times \sigma$	1,30821	8,46792	10,65854	3,77609	9,00367
Ir:1	$10 \times \sigma$	0,59640	7,54943	14,73857	5,85683	5,29711
Ir:2	$10 \times \sigma$	2,37448	8,16977	8,86472	3,25519	13,31972
Ir:3	$10 \times \sigma$	0,66848	4,55498	8,19619	5,39817	1,87042
Ir:4	$10 \times \sigma$	1,02153	6,29317	8,80660	4,19817	4,70764
Ir:5	$10 \times \sigma$	0,14664	1,48315	10,22245	20,67720	—
Ir:6	$10 \times \sigma$	2,91778	10,69745	11,30827	3,17130	23,74191
Fr:1-2	$10 \times \sigma$	2,32949	10,81470	11,76906	3,26474	19,81076
Fr:2-1	$10 \times \sigma$	1,95197	8,01536	9,00598	3,37077	10,99978
Fr:1-5	$10 \times \sigma$	2,89917	8,59474	9,09165	3,17345	17,15789
Fr:5-1	$10 \times \sigma$	2,64478	10,27017	10,97978	3,20728	20,55650
Fr:2-3	$10 \times \sigma$	1,41962	6,87312	8,40716	3,66958	6,72553
Fr:3-2	$10 \times \sigma$	1,49268	8,76976	10,55587	3,61100	10,36648
Fr:2-4	$10 \times \sigma$	0,49501	4,82588	10,87809	6,76236	2,03733
Fr:4-2	$10 \times \sigma$	0,94273	7,94187	11,57771	4,37342	6,79167
Fr:2-5	$10 \times \sigma$	1,32255	7,85329	9,84551	3,76104	8,04699
Fr:5-2	$10 \times \sigma$	3,54775	10,72134	11,13911	3,11690	28,46078
Fr:3-4	$10 \times \sigma$	3,47220	8,51077	8,85670	3,12194	19,91221
Fr:4-3	$10 \times \sigma$	2,14585	10,28614	11,34823	3,30976	17,24937
Fr:4-5	$10 \times \sigma$	3,74311	8,90282	9,21505	3,10522	22,86979
Fr:5-4	$10 \times \sigma$	2,70015	10,42307	11,11492	3,19913	21,37378
Fr:5-6	$10 \times \sigma$	3,59082	8,73433	9,06671	3,11416	21,37451
Fr:6-5	$10 \times \sigma$	2,91847	10,67706	11,28644	3,17122	23,68398
V:1	$10 \times \sigma$	10,64604	9,00005	9,03967	3,01321	64,15792
V:2	$10 \times \sigma$	10,59513	8,99730	9,03729	3,01333	63,82460
V:3	$10 \times \sigma$	10,19652	8,99653	9,03969	3,01439	61,43706

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
V:4	10 x σ	10,50544	8,99633	9,03699	3,01356	63,27877
V:5	10 x σ	10,46905	8,99576	9,03670	3,01366	63,05557
V:6	10 x σ	10,21560	8,99456	9,03755	3,01434	61,53073

O último teste deste capítulo é o de EG simples em uma medida com $II < 1$, neste teste é adicionado erro de -14 desvios padrões na medida **la:2**, a qual precisa de no mínimo 6,8 desvios padrões para ser detectada. O que se pode observar nos dados apresentado na tabela 3.21, é que o EG na medida **la:2**, foi identificado, e após sua correção o conjunto de medida ficou sem EG.

Tabela 3.21: Sistema de 6 barras, **Cenário 3**:

EG simples de -14 σ na medida **la:2**

Medidas suspeitas de possuir EG com $ENC > 3$					
Medida	II	RN	ENC	TV	FI
la:2	0,38486	-4,71235	-13,11976	8,35236	1,83479
Ir:5	0,16275	-1,55372	-9,67258	18,67628	–
Fr:2-4	0,55609	2,31252	4,75830	6,17287	–
la:5	0,20700	-0,91814	-4,52942	14,79980	–
Fa:5-1	4,61302	2,95986	3,02861	3,06968	–
Medidas suspeitas de possuir EG com $ENC > 3$: Após Corrigir EG					
Medida	II	RN	ENC	TV	FI
Ir:5	0,16277	-1,33501	-8,30968	18,67331	–

Uma conclusão imediata dos testes até aqui realizados é que a nova metodologia para o processamento de EG é eficaz e as amplitudes dos erros aparecem com certa precisão nos valores do ENC , o que não é verdade para os valores dos RN . Nos resultados apresentados pode-se observar também que quanto maior o NRG , melhor o nível de detecção das medidas.

No capítulo 4 será apresentado testes com sistemas de maior porte como os sistemas de 14 e 30 barras do IEEE e o sistema sul reduzido do Brasil de 45 barras.

Capítulo 4

Testes e Análise de Resultados

Neste capítulo serão apresentados testes realizados com SEPs de maior porte como os sistemas de 14 e 30 barras do IEEE, cujo diagramas unifilares são apresentados nas Figuras 4.1 e 4.2. Os parâmetros destes sistemas, assim como suas topologias, foram obtidos no endereço eletrônico: www.ee.washington.edu/research/pstca/. São apresentados também testes com sistema sul reduzido do Brasil de 45 barras, o diagrama unifilar deste sistema está ilustrado na Figura 4.3.

Assim como nos testes do capítulo anterior, os valores das medidas utilizadas para executar os testes deste capítulo, foram obtidos por meio da resolução do Fluxo de Carga (MONTICELLI, A., 1983), onde erros aleatórios com média assumida igual a zero e desvio padrão calculado a partir da equação 3.22 são adicionados às medidas.

Os testes realizados com esses sistemas foram numerosos, porém serão expostos neste capítulo os que abrangem todas as possibilidades proposta por esse trabalho.

Face ao exposto, para o SEP de 14 barras, são apresentados dois cenários de medidas diferentes, ou seja, com NRG (nível de redundância global) diferentes, onde para cada cenário os seguintes testes serão apresentados:

- Nível de detecção de EG de cada medida;
- Comportamento da medida quando é adicionado EG de 10σ ;
- EG simples em uma medida com alto $//$, ou seja, maior que um;
- EG simples em uma medida com baixo $//$, ou seja, menor que um.

Apenas um cenário de medida é considerado para realizar os testes com SEP de 30 barras e com sistema sul reduzido do Brasil de 45 barras. Para o SEP de 30 barras, serão apresentados os mesmos testes do SEP de 14 barras, já para o sistema sul reduzido, serão apresentados os seguintes testes:

- Nível de detecção de EG de cada medida;
- Comportamento da medida quando é adicionado EG de 10σ .

4.1 Simulações com sistema de 14 barras do IEEE

Os cenários utilizados neste sistema são:

Cenário 1: NRG=2,77, medidas escolhidas apresentadas na tabela 4.1;

Cenário 2: NRG=3,22, medidas escolhidas apresentadas na tabela 4.7.

Figura 4.1: Sistema Elétrico de Potência de 14 barras do IEEE

Explicação do Cenário 1

As medidas selecionadas para este cenário são apresentadas com seus valores e respectivos desvios padrões, na tabela 4.1.

Tabela 4.1: Sistema de 14 barras do IEEE, **Cenário 1**:

Valor e desvio padrão das medidas

Medidas de Potência Ativa			Medidas de Potência Reativa		
Medida	Valor (pu)	σ (pu)	Medida	Valor (pu)	σ (pu)
la:1	2,32400	0,02324	lr:1	-0,16500	0,00165
la:2	0,18300	0,00183	lr:2	0,30800	0,00308
la:4	-0,47800	0,00478	lr:4	0,03900	0,00039
la:6	-0,11200	0,00112	lr:6	0,05200	0,00052
la:9	-0,29500	0,00295	lr:9	-0,16600	0,00166
la:10	-0,09000	0,00090	lr:10	-0,05800	0,00058
la:12	-0,06100	0,00061	lr:12	-0,01600	0,00016
la:14	-0,14900	0,00149	lr:14	-0,05000	0,00050
Fa:1-2	1,56900	0,01569	Fr:1-2	-0,20400	0,00204
Fa:5-1	-0,72700	0,00727	Fr:5-1	0,02200	0,00022
Fa:2-3	0,73200	0,00732	Fr:2-3	0,03600	0,00036
Fa:4-2	-0,54500	0,00545	Fr:4-2	0,03000	0,00030
Fa:2-5	0,41500	0,00415	Fr:2-5	0,01200	0,00012
Fa:4-3	0,23700	0,00237	Fr:4-3	-0,04800	0,00048
Fa:4-5	-0,61200	0,00612	Fr:4-5	0,15800	0,00158
Fa:4-7	0,28100	0,00281	Fr:4-7	-0,09700	0,00097
Fa:7-4	-0,28100	0,00281	Fr:7-4	0,11400	0,00114
Fa:9-4	-0,16100	0,00161	Fr:9-4	0,01700	0,00017
Fa:5-6	0,44100	0,00441	Fr:5-6	0,12500	0,00125
Fa:6-5	-0,44100	0,00441	Fr:6-5	-0,08100	0,00081
Fa:6-11	0,07400	0,00074	Fr:6-11	0,03600	0,00036
Fa:6-12	0,07800	0,00078	Fr:6-12	0,02500	0,00025
Fa:12-6	-0,07700	0,00077	Fr:12-6	-0,02400	0,00024
Fa:6-13	0,17700	0,00177	Fr:6-13	0,07200	0,00072
Fa:13-6	-0,17500	0,00175	Fr:13-6	-0,06800	0,00068
Fa:7-8	0,00000	0,00000	Fr:7-8	-0,17200	0,00172
Fa:8-7	0,00000	0,00000	Fr:8-7	0,17600	0,00176
Fa:9-7	-0,28100	0,00281	Fr:9-7	-0,05000	0,00050
Fa:9-10	0,05200	0,00052	Fr:9-10	0,04200	0,00042
Fa:10-9	-0,05200	0,00052	Fr:10-9	-0,04200	0,00042
Fa:9-14	0,09400	0,00094	Fr:9-14	0,03600	0,00036
Fa:14-9	-0,09300	0,00093	Fr:14-9	-0,03400	0,00034
Fa:10-11	-0,03800	0,00038	Fr:10-11	-0,01600	0,00016
Fa:11-10	0,03800	0,00038	Fr:11-10	0,01600	0,00016
Fa:13-12	-0,01600	0,00016	Fr:13-12	-0,00740	0,00007
Fa:13-14	0,05600	0,00056	Fr:13-14	0,01700	0,00017
Fa:14-13	-0,05600	0,00056	Fr:14-13	-0,01600	0,00016
Medidas de Tensões					
Medida	Valor (pu)		σ (pu)		
V:1	1,06000		0,01060		

Para o sistema de 14 barras apresentado na Figura 4.1, com os valores de medidas apresentado na tabela 4.1, o EE é simulado e as variáveis de estados são obtidas e apresentadas na tabela 4.2.

Deve-se observar que os valores das variáveis de estados apresentados nesse trabalho, foram obtidos através do conjunto de medidas disponíveis e com *RG* adicionado a todo instante que se processa um estimador; isso pode fazer com que os valores das variáveis de estados estimadas do sistema variem em simulações diferentes, pois para cada simulação, um *RG* diferente é adicionado a cada medida.

Tabela 4.2: Sistema de 14 barras do IEEE, **Cenário 1**:

Variáveis de estados estimadas

Barra	Modulo (pu)	Fase (rad)	Fase (graus)
1	1,06086	0,00000	0,00
2	1,04582	-0,08697	-4,98
3	1,01064	-0,22255	-12,75
4	1,01841	-0,17999	-10,31
5	1,02029	-0,15303	-8,76
6	1,07057	-0,24824	-14,22
7	1,06210	-0,23319	-13,36
8	1,09047	-0,23319	-13,36
9	1,05655	-0,26093	-14,95
10	1,05161	-0,26370	-15,10
11	1,05752	-0,25822	-14,79
12	1,05566	-0,26330	-15,08
13	1,05090	-0,26468	-15,16
14	1,03631	-0,27985	-16,03

4.1.1 Teste 1 do Cenário 1: Nível de detecção de EG

Na tabela 4.3 mostra se os resultados do teste de “nível de detecção de EG” de cada medida. Note que as medidas com *//* maior que um, possuem os melhores níveis de detecção, ou seja, o EG é detectado com valor muito próximo do limiar de três desvios padrões comumente utilizado nos estudos de EE. Porém para as medidas com *//* menor que um, os níveis de detecção das medidas normalmente são maiores que o limiar de três desvios padrões.

Observe que independente do valor do *//* da medida, o valor do *ENC* é muito próximo do valor do EG normalizado adicionado na medida. Veja também que o

valor do *RN* nem sempre possui o seu valor próximo do valor do EG adicionado na medida.

Tabela 4.3: Sistema de 14 barras do IEEE, **Cenário 1**:

Nível de detecção de EG de cada medida

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Ia:1	3,5 x σ	3,42578	3,07677	3,20518	3,12520	0,27399
Ia:2	14,2 x σ	0,21446	3,00674	14,33917	14,30705	0,00689
Ia:4	2,8 x σ	0,64529	3,26059	6,01356	5,53296	0,31013
Ia:6	8,3 x σ	0,47563	3,03887	7,07501	6,98452	0,04304
Ia:9	4,0 x σ	0,99372	3,03411	4,30446	4,25607	0,04809
Ia:10	4,4 x σ	1,91882	3,06251	3,45345	3,38296	0,13525
Ia:12	3,2 x σ	1,46025	3,05717	3,70533	3,63603	0,10119
Ia:14	3,1 x σ	1,98790	3,02318	3,38414	3,35820	0,05158
Fa:1-2	3,7 x σ	3,51579	3,02773	3,14783	3,11899	0,10138
Fa:5-1	3,0 x σ	2,93651	3,07497	3,24838	3,16918	0,23258
Fa:2-3	3,7 x σ	3,95931	3,01449	3,10916	3,09421	0,05918
Fa:4-2	2,8 x σ	3,75783	3,03288	3,13843	3,10441	0,12786
Fa:2-5	3,6 x σ	2,30908	3,02584	3,29741	3,26925	0,06502
Fa:4-3	5,8 x σ	0,92748	3,04939	4,48425	4,41162	0,06736
Fa:4-5	3,7 x σ	1,45532	3,08703	3,74556	3,63997	0,15367
Fa:4-7	4,1 x σ	1,82896	3,05054	3,47674	3,41914	0,10535
Fa:7-4	3,0 x σ	1,70492	3,01938	3,50043	3,47797	0,03830
Fa:9-4	3,2 x σ	3,08206	3,08719	3,24562	3,15396	0,28250
Fa:5-6	3,2 x σ	4,00722	3,08759	3,18228	3,09200	0,36177
Fa:6-5	3,1 x σ	3,76027	3,05012	3,15613	3,10427	0,19500
Fa:6-11	4,5 x σ	0,94294	3,01918	4,40086	4,37290	0,02636
Fa:6-12	2,9 x σ	2,53945	3,06994	3,29939	3,22422	0,19088
Fa:12-6	3,3 x σ	2,39799	3,06998	3,32622	3,25040	0,18181
Fa:6-13	3,5 x σ	2,82735	3,02307	3,20658	3,18212	0,06918
Fa:13-6	3,0 x σ	2,67758	3,03630	3,24114	3,20240	0,10374
Fa:9-7	4,3 x σ	1,09529	3,06845	4,15496	4,06228	0,10152
Fa:9-10	3,1 x σ	1,21867	3,04609	3,94034	3,88072	0,07266
Fa:10-9	5,4 x σ	1,12568	3,05710	4,08917	4,01280	0,08597
Fa:9-14	4,0 x σ	1,78459	3,07322	3,52282	3,43889	0,14978
Fa:14-9	2,8 x σ	1,68496	3,06062	3,55905	3,48856	0,11877
Fa:10-11	3,0 x σ	1,07446	3,01508	4,11887	4,09826	0,02214
Fa:11-10	3,2 x σ	1,16066	3,03584	4,00722	3,95991	0,05492
Fa:13-12	8,8 x σ	0,44929	3,04000	7,41785	7,32024	0,04386
Fa:13-14	5,6 x σ	1,45557	3,07204	3,72717	3,63977	0,12722
Fa:14-13	3,3 x σ	1,36633	3,03077	3,75578	3,71765	0,05210
Ir:1	2,8 x σ	0,85298	3,56556	5,49422	4,62275	0,74335
Ir:2	4,1 x σ	3,32559	3,01164	3,14485	3,13270	0,04042
Ir:4	7,5 x σ	0,28788	3,02020	10,91716	10,84413	0,02102
Ir:6	5,1 x σ	0,69320	3,03921	5,33471	5,26588	0,04771
Ir:9	2,8 x σ	1,83382	3,23699	3,68700	3,41705	0,49502
Ir:10	4,2 x σ	1,79800	3,00165	3,43466	3,43278	0,00339
Ir:12	4,2 x σ	0,98182	3,06913	4,38078	4,28211	0,09688
Ir:14	3,8 x σ	1,93397	3,02996	3,41105	3,37732	0,06524

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Fr:1-2	2,8 x σ	2,00882	3,01374	3,36651	3,35116	0,03084
Fr:5-1	6,3 x σ	0,45489	3,00757	7,26352	7,24526	0,00831
Fr:2-3	9,1 x σ	0,57244	3,01430	6,06742	6,03864	0,01647
Fr:4-2	3,2 x σ	1,45218	3,00880	3,65318	3,64249	0,01551
Fr:2-5	7,5 x σ	0,33175	3,02337	9,60171	9,52751	0,02462
Fr:4-3	3,6 x σ	0,82364	3,04781	4,79399	4,71878	0,06194
Fr:4-5	4,2 x σ	2,53781	3,04202	3,26967	3,22450	0,11462
Fr:4-7	2,8 x σ	1,88699	3,10282	3,51159	3,39523	0,21958
Fr:7-4	3,2 x σ	2,57226	3,03504	3,25632	3,21873	0,09669
Fr:9-4	4,6 x σ	0,95541	3,02524	4,37931	4,34278	0,03490
Fr:5-6	3,1 x σ	2,96420	3,06568	3,23544	3,16612	0,20548
Fr:6-5	3,2 x σ	1,63655	3,06446	3,59126	3,51573	0,12362
Fr:6-11	4,7 x σ	1,13325	3,04788	4,06484	4,00099	0,07236
Fr:6-12	3,3 x σ	2,48266	3,06085	3,29982	3,23422	0,16285
Fr:12-6	3,7 x σ	2,17456	3,06324	3,37161	3,30201	0,15136
Fr:6-13	2,9 x σ	3,06822	3,04143	3,19889	3,15532	0,13369
Fr:13-6	3,6 x σ	2,71155	3,06035	3,26184	3,19751	0,17443
Fr:7-8	3,0 x σ	0,98249	3,05015	4,35218	4,28062	0,07031
Fr:8-7	3,7 x σ	1,01702	3,03987	4,26320	4,20729	0,05686
Fr:9-7	4,5 x σ	0,36918	3,03231	8,75552	8,66223	0,03444
Fr:9-10	2,8 x σ	1,36423	3,70047	4,58815	3,71965	1,18484
Fr:10-9	4,4 x σ	1,24924	3,06545	3,92662	3,84279	0,10473
Fr:9-14	2,8 x σ	1,79645	3,38025	3,86867	3,43348	0,78180
Fr:14-9	4,3 x σ	1,56712	3,00601	3,56588	3,55875	0,01118
Fr:10-11	3,7 x σ	1,01784	3,01032	4,22011	4,20564	0,01473
Fr:11-10	3,2 x σ	1,13312	3,04857	4,06597	4,00120	0,07340
Fr:13-12	8,1 x σ	0,55885	3,00694	6,16380	6,14958	0,00795
Fr:13-14	4,1 x σ	1,35821	3,05009	3,78763	3,72543	0,08448
Fr:14-13	3,5 x σ	1,13972	3,00672	4,00000	3,99106	0,01019
V:1	3,3 x σ	7,12691	3,00585	3,03530	3,02939	0,04212

4.1.2 Teste 2 do Cenário 1: Adiciona-se EG de 10σ na medida

Os resultados apresentados na tabela 4.4, mostram os testes onde é adicionado em cada medida, uma por vez, um EG de 10σ . Este teste permite concluir que; quando os EGs são adicionados em medidas com nível de detecção menor que 10σ , conforme resultados apresentados na tabela 4.3, não há dificuldade na detecção destes erros, pois o *ENC* dessas medidas estão fora da hiper-elipsóide. Já para as medidas cujo nível de detecção de EG é maior que 10σ (ver medidas destacadas na tabela 4.4), os EGs não foram detectados. Isto porque $|ENC| < TV$, ou seja, o valor de EG adicionado não foi suficiente para que o *ENC* sai-se da hiper-elipsóide.

Tabela 4.4: Sistema de 14 barras do IEEE, **Cenário 1:**EG de 10σ em cada medida

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Ia:1	$10 \times \sigma$	3,64348	8,65465	8,97471	3,11094	21,36450
Ia:2	$10 \times \sigma$	0,20733	2,30840	11,37074	14,77742	–
Ia:4	$10 \times \sigma$	0,59787	7,39437	14,40966	5,84620	5,11987
Ia:6	$10 \times \sigma$	0,46677	3,84547	9,09181	7,09287	0,93304
Ia:9	$10 \times \sigma$	0,93209	7,63771	11,20178	4,39992	6,33991
Ia:10	$10 \times \sigma$	1,80636	8,65353	9,89107	3,42903	11,67278
Ia:12	$10 \times \sigma$	1,35812	9,24391	11,47940	3,72550	10,53075
Ia:14	$10 \times \sigma$	1,84285	10,10127	11,49263	3,41322	14,88915
Fa:1-2	$10 \times \sigma$	3,72814	8,35790	8,65335	3,10605	20,68112
Fa:5-1	$10 \times \sigma$	2,72103	10,68713	11,38600	3,19618	22,28474
Fa:2-3	$10 \times \sigma$	4,20048	8,43682	8,67261	3,08384	23,47547
Fa:4-2	$10 \times \sigma$	3,48056	10,87831	11,31840	3,12137	28,53022
Fa:2-5	$10 \times \sigma$	2,45224	8,25006	8,90966	3,23985	13,90372
Fa:4-3	$10 \times \sigma$	0,96351	5,66883	8,17015	4,32372	3,70608
Fa:4-5	$10 \times \sigma$	1,35758	8,99409	11,17074	3,72603	10,10681
Fa:4-7	$10 \times \sigma$	1,93208	7,63792	8,60034	3,37802	10,08992
Fa:7-4	$10 \times \sigma$	1,58247	9,68072	11,45164	3,54880	12,50597
Fa:9-4	$10 \times \sigma$	2,86671	10,36170	10,97404	3,17729	22,35099
Fa:5-6	$10 \times \sigma$	4,27320	8,95070	9,19252	3,08105	26,11549
Fa:6-5	$10 \times \sigma$	3,49132	10,64290	11,07087	3,12063	27,75678
Fa:6-11	$10 \times \sigma$	0,99288	6,49538	9,21886	4,25789	4,92564
Fa:6-12	$10 \times \sigma$	2,71947	9,10677	9,70295	3,19640	17,69436
Fa:12-6	$10 \times \sigma$	2,22978	10,12701	11,09881	3,28788	17,41661
Fa:6-13	$10 \times \sigma$	3,00363	8,43282	8,88790	3,16190	17,19881
Fa:13-6	$10 \times \sigma$	2,48537	10,39068	11,20021	3,23373	19,79968
Fa:9-7	$10 \times \sigma$	1,03046	7,68421	10,70768	4,18040	6,72613
Fa:9-10	$10 \times \sigma$	1,29850	7,80553	9,85194	3,78653	7,87593
Fa:10-9	$10 \times \sigma$	1,07175	6,81490	9,32070	4,10308	5,59199
Fa:9-14	$10 \times \sigma$	1,88715	7,75895	8,78097	3,39516	10,16382
Fa:14-9	$10 \times \sigma$	1,56095	9,88635	11,74111	3,56282	12,76592
Fa:10-11	$10 \times \sigma$	0,99786	8,54123	12,09208	4,24719	7,82811
Fa:11-10	$10 \times \sigma$	1,23773	7,77491	9,99539	3,85679	7,59791
Fa:13-12	$10 \times \sigma$	0,44331	3,58945	8,85686	7,40242	0,64477
Fa:13-14	$10 \times \sigma$	1,51574	6,31015	7,55971	3,59407	6,01088
Fa:14-13	$10 \times \sigma$	1,26900	9,16491	11,66856	3,81954	9,96038
Ir:1	$10 \times \sigma$	0,78660	8,61600	13,93607	4,85239	7,14522
Ir:2	$10 \times \sigma$	3,51420	8,02872	8,34746	3,11910	18,37347
Ir:4	$10 \times \sigma$	0,29454	3,65397	12,93244	10,61786	0,68175
Ir:6	$10 \times \sigma$	0,72516	5,59115	9,52414	5,11030	3,20073
Ir:9	$10 \times \sigma$	1,69564	10,48840	12,17650	3,48285	14,74127
Ir:10	$10 \times \sigma$	1,69023	8,62723	10,02406	3,48573	11,05128
Ir:12	$10 \times \sigma$	0,92189	7,55978	11,15324	4,42602	6,20178
Ir:14	$10 \times \sigma$	1,81028	9,15963	10,46424	3,42729	12,73883
Fr:1-2	$10 \times \sigma$	1,85425	10,42845	11,84833	3,40846	15,64959
Fr:5-1	$10 \times \sigma$	0,46981	4,42680	10,41059	7,05516	1,57642
Fr:2-3	$10 \times \sigma$	0,57714	3,41967	6,84118	6,00162	0,48455
Fr:4-2	$10 \times \sigma$	1,54742	8,05491	9,59050	3,57192	9,31324
Fr:2-5	$10 \times \sigma$	0,33942	3,75977	11,69772	9,33386	0,80234

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Fr:4-3	10 x σ	0,76933	7,48476	12,27488	4,91995	5,65839
Fr:4-5	10 x σ	2,67845	7,77966	8,30419	3,20227	13,66520
Fr:4-7	10 x σ	1,74488	10,20387	11,76081	3,45775	14,48787
Fr:7-4	10 x σ	2,74636	8,83037	9,39753	3,19269	17,04072
Fr:9-4	10 x σ	1,00453	6,43713	9,08298	4,23309	4,87185
Fr:5-6	10 x σ	3,16450	8,93786	9,37350	3,14623	19,70621
Fr:6-5	10 x σ	1,52155	9,52422	11,39705	3,58992	11,87893
Fr:6-11	10 x σ	1,19095	6,67331	8,71381	3,91731	5,71241
Fr:6-12	10 x σ	2,64203	8,54486	9,13645	3,20770	15,66394
Fr:12-6	10 x σ	2,03078	9,58154	10,68022	3,34400	14,89821
Fr:6-13	10 x σ	3,27765	8,97774	9,38629	3,13652	20,48454
Fr:13-6	10 x σ	2,53331	9,78064	10,51507	3,22527	18,46730
Fr:7-8	10 x σ	0,91023	8,35977	12,41916	4,45676	7,24764
Fr:8-7	10 x σ	1,07805	7,19498	9,81382	4,09194	6,16847
Fr:9-7	10 x σ	0,34797	5,05683	15,38714	9,12854	2,17779
Fr:9-10	10 x σ	1,45977	8,94657	10,84448	3,63641	10,52213
Fr:10-9	10 x σ	1,17755	7,80774	10,24327	3,93582	7,42731
Fr:9-14	10 x σ	1,92163	9,00881	10,15563	3,38190	13,01662
Fr:14-9	10 x σ	1,47476	8,30054	10,02886	3,62465	9,44463
Fr:10-11	10 x σ	0,95181	7,88216	11,43275	4,35138	6,74009
Fr:11-10	10 x σ	1,20802	7,72386	10,02692	3,89452	7,40804
Fr:13-12	10 x σ	0,54741	4,02273	8,37763	6,24773	1,16593
Fr:13-14	10 x σ	1,43540	7,36560	8,97681	3,65625	7,63713
Fr:14-13	10 x σ	1,06258	8,39255	11,52466	4,11960	7,86845
V:1	10 x σ	7,59592	8,86468	8,94117	3,02589	44,93205

4.1.3 Teste 3 do Cenário 1: EG simples

As tabelas 4.5 e 4.6 apresentam os resultados de testes de EG simples em medidas com bom e “ruim” II, respectivamente.

Na tabela 4.5, são apresentados os resultados do teste de EG simples, onde foi atribuído EG de -7σ na medida **Fa:5-1**. Após simular o EE, foram feitos os testes para detectar, identificar e corrigir a medida com EG usando a nova proposição, ou seja, seguindo o algoritmo apresentando na subseção 3.4.1 do capítulo 3.

Seguindo o algoritmo 3.4.1 foi observado que seis das medidas do conjunto de medidas são suspeitas de possuírem EG, pois todas possuem $|ENC| > 3.0$, veja a tabela 4.5. Dessas medidas, apenas duas apresentam o $|ENC| > TV$, o qual foram calculado os respectivos *FIs*, e para concluir a medida **Fa:5-1** foi identificada como portadora do EG, pois esta possui o maior *FI* entre as medidas suspeitas.

Ainda seguindo o algoritmo 3.4.1, a medida identificada como portadora do EG é corrigida e o EE é novamente simulado. Após corrigir a medida com erro, três medidas ainda são suspeitas de possuir EG, veja tabela 4.5, mas como seus $|ENC| < TV$, então se conclui pela não existência de EG no conjunto de medidas.

Tabela 4.5: Sistema de 14 barras do IEEE, **Cenário 1:**EG simples de -7σ na medida **Fa:5-1**

Medidas suspeitas de possuir EG com $ENC > 3$					
Medida	<i>II</i>	<i>RN</i>	<i>ENC</i>	<i>TV</i>	<i>FI</i>
Fr:9-7	0,38973	-3,00801	-8,28365	8,26158	0,00860
Fa:5-1	3,03614	-6,92736	-7,29344	3,15853	12,55412
Ia:2	0,18873	1,24246	6,69960	16,17666	–
Fa:13-12	0,48996	1,35515	3,07999	6,81839	–
Fr:7-4	2,50778	-2,84245	-3,06011	3,22972	–
Ir:1	0,88463	-2,00831	-3,03104	4,52776	–
Medidas suspeitas de possuir EG com $ENC > 3$: Após Corrigir EG					
Medida	<i>II</i>	<i>RN</i>	<i>ENC</i>	<i>TV</i>	<i>FI</i>
Fr:9-7	0,38965	-2,08271	-5,73651	8,26306	–
Fr:2-5	0,30912	1,24479	4,21487	10,15804	–
Fr:9-4	0,90748	2,17016	3,22931	4,46415	–

Na tabela 4.6 são apresentados os resultados do teste onde foi atribuído EG de -8σ na medida **Fa:13-12**. Observe que após simular o EE, os resultados obtidos mostram que entre as medidas suspeitas de possuírem EG, a única medida com $|ENC| > TV$ é a **Fa:13-12** portanto seguindo o algoritmo apresentado na subseção 3.4.1, conclui-se que essa medida possui EG e deve ser corrigida.

Observe na tabela 4.6 que após corrigir a medida **Fa:13-12**, nenhuma das medidas suspeitas de possuírem EG, pois os $|ENC| > TV$, ou seja, os *ENCs* estão dentro da hiper-elipsóide.

Tabela 4.6: Sistema de 14 barras do IEEE, **Cenário 1**:
EG simples de -8σ na medida **Fa:13-12**

Medidas suspeitas de possuir EG com ENC>3					
Medida	<i>II</i>	<i>RN</i>	<i>ENC</i>	<i>TV</i>	<i>FI</i>
Ir:4	0,26633	2,36996	9,20874	11,65685	–
Fa:13-12	0,49021	-3,34860	-7,60761	6,81564	0,38823
Fr:5-1	0,43028	2,14480	5,42649	7,59020	–
Fr:9-7	0,38973	-1,79251	-4,93630	8,26153	–
Ia:2	0,18825	0,70465	3,80886	16,21595	–
Ir:1	0,88733	2,48842	3,74924	4,52004	–
Ia:12	1,51811	-2,85516	-3,41893	3,59237	–
Fr:2-5	0,30970	-0,91507	-3,09314	10,14071	–
Fr:4-2	1,41750	-2,51529	-3,07820	3,67139	–
Medidas suspeitas de possuir EG com ENC>3: Após Corrigir EG					
Medida	<i>II</i>	<i>RN</i>	<i>ENC</i>	<i>TV</i>	<i>FI</i>
Ir:4	0,26633	2,42888	9,43756	11,65670	–
Fr:9-7	0,38976	-1,76228	-4,85276	8,26105	–
Fr:5-1	0,43020	1,91236	4,83923	7,59150	–
Fr:2-5	0,30967	-1,16451	-3,93669	10,14166	–
Ia:2	0,18829	0,66894	3,61518	16,21302	–
Ir:1	0,88723	2,36389	3,56186	4,52033	–
Fr:4-2	1,41753	-2,59409	-3,17461	3,67137	–

Uma conclusão imediata para este cenário, é que todas as medidas, independente de possuir ou não bons *II*, têm seus EGs detectados e identificados, porém deve-se levar em consideração sempre o nível de detecção de cada medida conforme os resultados apresentados na tabela 4.3, isso é, deve-se considerar o raio da hiper-elipsóide em cada direção, ou seja, calcular o *TV* de cada medida.

Neste cenário os valores dos EGs adicionados nos testes de EGs simples foram todos superiores ao nível de detecção mínimo. No próximo cenário será apresentado um caso de EG simples, onde é adicionado um EG menor que o nível de detecção mínimo para uma determinada medida.

Explicação do Cenário 2

As medidas selecionadas para o cenário 2, são apresentadas com seus valores e respectivos desvios padrões na tabela 4.7. Já os valores das variáveis de estados obtidos após a simulação do EE, são apresentados na tabela 4.8.

Tabela 4.7: Sistema de 14 barras do IEEE, **Cenário 2:**

Valor e desvio padrão das medidas

Medidas de Potência Ativa			Medidas de Potência Reativa		
Medida	Valor (pu)	σ (pu)	Medida	Valor (pu)	σ (pu)
la:1	2,32400	0,02324	lr:1	-0,16500	0,00165
la:2	0,18300	0,00183	lr:2	0,30800	0,00308
la:4	-0,47800	0,00478	lr:4	0,03900	0,00039
la:5	-0,07600	0,00076	lr:5	-0,01600	0,00016
la:6	-0,11200	0,00112	lr:6	0,05200	0,00052
la:9	-0,29500	0,00295	lr:9	-0,16600	0,00166
la:10	-0,09000	0,00090	lr:10	-0,05800	0,00058
la:12	-0,06100	0,00061	lr:12	-0,01600	0,00016
la:13	-0,13500	0,00135	lr:13	-0,05800	0,00058
la:14	-0,14900	0,00149	lr:14	-0,05000	0,00050
Fa:1-2	1,56900	0,01569	Fr:1-2	-0,20400	0,00204
Fa:2-1	-1,52600	0,01526	Fr:2-1	0,27700	0,00277
Fa:5-1	-0,72700	0,00727	Fr:5-1	0,02200	0,00022
Fa:2-3	0,73200	0,00732	Fr:2-3	0,03600	0,00036
Fa:2-4	0,56100	0,00561	Fr:2-4	-0,01550	0,00016
Fa:4-2	-0,54500	0,00545	Fr:4-2	0,03000	0,00030
Fa:2-5	0,41500	0,00415	Fr:2-5	0,01200	0,00012
Fa:5-2	-0,40600	0,00406	Fr:5-2	-0,02100	0,00021
Fa:4-3	0,23700	0,00237	Fr:4-3	-0,04800	0,00048
Fa:4-5	-0,61200	0,00612	Fr:4-5	0,15800	0,00158
Fa:4-7	0,28100	0,00281	Fr:4-7	-0,09700	0,00097
Fa:7-4	-0,28100	0,00281	Fr:7-4	0,11400	0,00114
Fa:9-4	-0,16100	0,00161	Fr:9-4	0,01700	0,00017
Fa:5-6	0,44100	0,00441	Fr:5-6	0,12500	0,00125
Fa:6-5	-0,44100	0,00441	Fr:6-5	-0,08100	0,00081
Fa:6-11	0,07400	0,00074	Fr:6-11	0,03600	0,00036
Fa:6-12	0,07800	0,00078	Fr:6-12	0,02500	0,00025
Fa:12-6	-0,07700	0,00077	Fr:12-6	-0,02400	0,00024
Fa:6-13	0,17700	0,00177	Fr:6-13	0,07200	0,00072
Fa:13-6	-0,17500	0,00175	Fr:13-6	-0,06800	0,00068
Fa:7-8	0,00000	0,00000	Fr:7-8	-0,17200	0,00172
Fa:8-7	0,00000	0,00000	Fr:8-7	0,17600	0,00176
Fa:9-7	-0,28100	0,00281	Fr:9-7	-0,05000	0,00050
Fa:9-10	0,05200	0,00052	Fr:9-10	0,04200	0,00042
Fa:10-9	-0,05200	0,00052	Fr:10-9	-0,04200	0,00042
Fa:9-14	0,09400	0,00094	Fr:9-14	0,03600	0,00036
Fa:14-9	-0,09300	0,00093	Fr:14-9	-0,03400	0,00034
Fa:10-11	-0,03800	0,00038	Fr:10-11	-0,01600	0,00016
Fa:11-10	0,03800	0,00038	Fr:11-10	0,01600	0,00016
Fa:12-13	0,01600	0,00016	Fr:12-13	0,00750	0,00008
Fa:13-12	-0,01600	0,00016	Fr:13-12	-0,00740	0,00007
Fa:13-14	0,05600	0,00056	Fr:13-14	0,01700	0,00017
Fa:14-13	-0,05600	0,00056	Fr:14-13	-0,01600	0,00016
Medidas de Tensões					
Medida	Valor (pu)		σ (pu)		
V:1	1,06		0,0106		

Tabela 4.8: Sistema de 14 barras do IEEE, **Cenário 2:**
Variáveis de estados estimadas

Barra	Modulo (pu)	Fase (rad)	Fase (graus)
1	1,06049	0,00000	0,00
2	1,04559	-0,08670	-4,96
3	1,01064	-0,22113	-12,67
4	1,01822	-0,17968	-10,29
5	1,02005	-0,15286	-8,75
6	1,07040	-0,24766	-14,18
7	1,06202	-0,23263	-13,32
8	1,09036	-0,23263	-13,32
9	1,05635	-0,26031	-14,91
10	1,05141	-0,26308	-15,07
11	1,05730	-0,25767	-14,76
12	1,05559	-0,26246	-15,03
13	1,05080	-0,26389	-15,11
14	1,03593	-0,27941	-16,00

4.1.4 Teste 1 do Cenário 2: Nível de detecção de EG

A tabela 4.9 mostra os resultados do teste de “nível de detecção de EG” para este cenário. Observe novamente que quando o $//$ é menor que um, maior deve ser o valor do EG atribuído na medida para que este erro seja detectado, já as medidas com $//$ maior que um, o EG é detectado com valores próximo de três.

Tabela 4.9: Sistema de 14 barras do IEEE, **Cenário 2:**
Nível de detecção de EG de cada medida

Medida	EG	$//$	RN	ENC	TV	FI
la:1	3,1 x σ	4,91612	3,00080	3,06226	3,06144	0,00404
la:2	12,6 x σ	0,27884	3,01813	11,23694	11,16945	0,01882
la:4	4,5 x σ	0,93097	3,06667	4,50059	4,40274	0,09109
la:5	28,4 x σ	0,09654	3,00678	31,29112	31,22053	0,00682
la:6	6,1 x σ	0,60143	3,00347	5,82749	5,82077	0,00405
la:9	4,9 x σ	0,99644	3,05893	4,33371	4,25023	0,08319
la:10	2,8 x σ	1,91290	3,23001	3,64474	3,38520	0,49648
la:12	3,7 x σ	1,75351	3,04633	3,50689	3,45355	0,09353
la:13	3,2 x σ	1,73521	3,06474	3,53725	3,46253	0,12966
la:14	3,5 x σ	1,99956	3,08772	3,45232	3,35425	0,19610
Fa:1-2	3,3 x σ	4,61060	3,00935	3,07932	3,06975	0,04412
Fa:2-1	3,0 x σ	4,38759	3,07369	3,15251	3,07693	0,33160
Fa:5-1	3,0 x σ	5,19165	3,00448	3,05971	3,05515	0,02369
Fa:2-3	3,4 x σ	4,23692	3,00199	3,08447	3,08243	0,00868
Fa:2-4	3,1 x σ	5,15284	3,02466	3,08110	3,05597	0,12946
Fa:4-2	3,1 x σ	4,89272	3,06398	3,12732	3,06202	0,31951
Fa:2-5	3,1 x σ	5,51888	3,09167	3,14202	3,04885	0,51416
Fa:5-2	3,2 x σ	5,21616	3,06937	3,12527	3,05463	0,36845
Fa:4-3	4,9 x σ	1,15958	3,06433	4,04643	3,96148	0,09850

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Fa:4-5	2,9 x σ	3,33173	3,05337	3,18794	3,13222	0,18566
Fa:4-7	3,4 x σ	1,91197	3,08376	3,48007	3,38555	0,18072
Fa:7-4	3,2 x σ	1,78181	3,07579	3,52708	3,44017	0,15486
Fa:9-4	3,2 x σ	3,25166	3,09267	3,23562	3,13866	0,31526
Fa:5-6	3,0 x σ	4,86027	3,03518	3,09876	3,06284	0,17457
Fa:6-5	3,2 x σ	4,56398	3,10336	3,17698	3,07117	0,48293
Fa:6-11	4,7 x σ	0,98711	3,03204	4,31604	4,27043	0,04502
Fa:6-12	3,1 x σ	2,91101	3,01125	3,18397	3,17208	0,03461
Fa:12-6	3,4 x σ	2,75202	3,01067	3,20327	3,19192	0,03125
Fa:6-13	3,3 x σ	3,44502	3,00389	3,12789	3,12383	0,01397
Fa:13-6	3,0 x σ	3,26168	3,00944	3,14770	3,13783	0,03220
Fa:9-7	3,3 x σ	1,10106	3,00531	4,05979	4,05263	0,00789
Fa:9-10	3,5 x σ	1,21405	3,06863	3,97559	3,88667	0,10795
Fa:10-9	3,9 x σ	1,12062	3,07312	4,11881	4,02080	0,10983
Fa:9-14	3,3 x σ	1,78801	3,07752	3,52615	3,43732	0,15882
Fa:14-9	4,3 x σ	1,68744	3,06995	3,56853	3,48722	0,13721
Fa:10-11	3,6 x σ	1,06854	3,05644	4,18613	4,10883	0,08260
Fa:11-10	4,9 x σ	1,15486	3,02425	4,00047	3,96839	0,03705
Fa:12-13	5,8 x σ	1,20800	3,02769	3,93049	3,89455	0,04342
Fa:13-12	3,6 x σ	1,11996	3,01858	4,04675	4,02185	0,02789
Fa:13-14	4,2 x σ	1,58820	3,04229	3,59512	3,54514	0,07938
Fa:14-13	2,8 x σ	1,49319	3,05072	3,67166	3,61062	0,09115
Ir:1	4,6 x σ	1,15248	3,01587	3,99292	3,97191	0,02421
Ir:2	3,1 x σ	3,68554	3,06892	3,17988	3,10847	0,26319
Ir:4	7,4 x σ	0,44911	3,00981	7,34660	7,32266	0,01075
Ir:5	16,2 x σ	0,17901	3,01857	17,13056	17,02516	0,01887
Ir:6	5,9 x σ	0,84184	3,00806	4,67078	4,65827	0,01054
Ir:9	3,6 x σ	2,14122	3,06576	3,38362	3,31104	0,15541
Ir:10	3,3 x σ	1,79807	3,03598	3,47392	3,43275	0,07403
Ir:12	2,8 x σ	1,17258	3,21676	4,22768	3,94280	0,33404
Ir:13	3,5 x σ	2,06195	3,08469	3,42832	3,33419	0,19408
Ir:14	3,3 x σ	1,94194	3,06205	3,44419	3,37440	0,13553
Fr:1-2	3,3 x σ	2,30165	3,06138	3,33784	3,27091	0,15404
Fr:2-1	3,0 x σ	3,82369	3,01229	3,11360	3,10090	0,04856
Fr:5-1	6,4 x σ	0,77723	3,01145	4,90729	4,88863	0,01451
Fr:2-3	8,8 x σ	0,65462	3,01645	5,50747	5,47744	0,01966
Fr:2-4	3,0 x σ	1,04989	3,06972	4,23934	4,14306	0,10108
Fr:4-2	3,2 x σ	1,83785	3,03597	3,45629	3,41534	0,07526
Fr:2-5	3,3 x σ	1,00465	3,02609	4,26966	4,23284	0,03699
Fr:5-2	3,3 x σ	1,62599	3,01769	3,54272	3,52195	0,03376
Fr:4-3	4,0 x σ	0,87224	3,06129	4,65721	4,56396	0,08133
Fr:4-5	3,0 x σ	5,45187	3,00720	3,05737	3,05005	0,03990
Fr:4-7	3,3 x σ	2,75117	3,08122	3,27845	3,19203	0,23775
Fr:7-4	3,2 x σ	3,34095	3,05448	3,18837	3,13150	0,18999
Fr:9-4	4,0 x σ	1,33254	3,03472	3,79422	3,75080	0,05785
Fr:5-6	2,8 x σ	3,95301	3,00755	3,10229	3,09450	0,03076
Fr:6-5	3,4 x σ	2,12756	3,01466	3,33106	3,31486	0,03447
Fr:6-11	5,7 x σ	1,19305	3,03558	3,96089	3,91447	0,05539
Fr:6-12	3,6 x σ	2,69971	3,01064	3,21054	3,19919	0,03064
Fr:12-6	3,3 x σ	2,38523	3,05549	3,31316	3,25299	0,14353
Fr:6-13	3,1 x σ	3,75091	3,04343	3,14973	3,10479	0,16858
Fr:13-6	3,2 x σ	3,33129	3,07977	3,21554	3,13225	0,27745
Fr:7-8	4,7 x σ	0,98211	3,05093	4,35414	4,28146	0,07138
Fr:8-7	4,6 x σ	1,01654	3,02305	4,24059	4,20826	0,03287
Fr:9-7	8,9 x σ	0,38412	3,03566	8,46581	8,36637	0,03820
Fr:9-10	4,8 x σ	1,36591	3,02311	3,74669	3,71805	0,03912
Fr:10-9	2,8 x σ	1,25994	3,20738	4,09483	3,83008	0,33358
Fr:9-14	3,4 x σ	1,82482	3,07643	3,50808	3,42093	0,15904
Fr:14-9	4,2 x σ	1,59556	3,01171	3,55433	3,54051	0,02205

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Fr:10-11	4,9 x σ	1,01869	3,00406	4,20959	4,20390	0,00580
Fr:11-10	3,4 x σ	1,13436	3,02729	4,03566	3,99928	0,04127
Fr:12-13	3,4 x σ	1,29154	3,05898	3,86872	3,79413	0,09634
Fr:13-12	5,3 x σ	1,18152	3,06264	4,01234	3,93027	0,09696
Fr:13-14	4,9 x σ	1,43971	3,00293	3,65624	3,65267	0,00514
Fr:14-13	3,0 x σ	1,21827	3,01294	3,89796	3,88123	0,02039
V:1	3,2 x σ	10,07384	3,04066	3,05560	3,01475	0,41157

4.1.5 Teste 2 do Cenário 2: Adiciona-se EG de 10σ na medida

Nesse cenário, quando é adicionado EG de 10σ em cada medida, os seguintes resultados são obtidos: As medidas com nível de detecção menor que 10σ , obtiveram seus EGs detectados normalmente, conforme os resultados da tabela 4.10, já as medidas com nível de detecção maior que os 10σ , não foi possível detectar o erro, conforme medidas destacadas na tabela 4.10.

Tabela 4.10: Sistema de 14 barras do IEEE, **Cenário 2:**

EG de 10σ em cada medida

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Ia:1	10 x σ	5,24956	9,05180	9,21456	3,05395	32,34056
Ia:2	10 x σ	0,27493	2,63612	9,94413	11,31680	-
Ia:4	10 x σ	0,87705	7,16241	10,86239	4,54975	5,53650
Ia:5	10 x σ	0,12059	0,60864	5,08376	25,05778	-
Ia:6	10 x σ	0,57653	5,17704	10,36509	6,00638	2,51294
Ia:9	10 x σ	0,94254	7,06460	10,29991	4,37389	5,58549
Ia:10	10 x σ	1,77256	10,31772	11,84639	3,44448	14,89290
Ia:12	10 x σ	1,63983	9,10765	10,66755	3,51382	11,73086
Ia:13	10 x σ	1,61409	9,59734	11,28997	3,52910	12,52676
Ia:14	10 x σ	1,86437	9,63048	10,92835	3,40430	14,02762
Fa:1-2	10 x σ	4,90834	8,77288	8,95310	3,06163	28,91734
Fa:2-1	10 x σ	4,06724	10,93537	11,26104	3,08935	33,23627
Fa:5-1	10 x σ	4,81538	10,87348	11,10547	3,06401	38,72270
Fa:2-3	10 x σ	4,50946	8,72122	8,93308	3,07288	26,42636
Fa:2-4	10 x σ	5,49793	9,01202	9,15987	3,04922	33,59596
Fa:4-2	10 x σ	4,54516	10,74630	11,00332	3,07175	36,05026
Fa:2-5	10 x σ	5,88607	9,05180	9,18150	3,04299	36,13173
Fa:5-2	10 x σ	4,85190	10,63792	10,86151	3,06306	37,83732
Fa:4-3	10 x σ	1,21645	6,60893	8,55542	3,88357	5,68307
Fa:4-5	10 x σ	3,08592	10,83661	11,39139	3,15358	25,42119
Fa:4-7	10 x σ	2,03545	8,34097	9,29324	3,34250	12,11242
Fa:7-4	10 x σ	1,65677	9,64183	11,26202	3,50412	12,85308
Fa:9-4	10 x σ	3,02224	10,46026	11,01799	3,15996	23,74884
Fa:5-6	10 x σ	5,19418	9,14636	9,31433	3,05509	32,51160
Fa:6-5	10 x σ	4,24312	10,66009	10,95213	3,08219	33,39310
Fa:6-11	10 x σ	1,03758	6,46310	8,97621	4,16652	4,99043
Fa:6-12	10 x σ	3,10533	8,79884	9,24381	3,15172	18,91797
Fa:12-6	10 x σ	2,56164	10,11636	10,85987	3,22049	19,56935
Fa:6-13	10 x σ	3,66760	8,69080	9,00806	3,10952	21,63349
Fa:13-6	10 x σ	3,02718	10,56465	11,12616	3,15945	24,11665

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Fa:9-7	10 x σ	1,02571	8,38302	11,70772	4,18980	7,71124
Fa:9-10	10 x σ	1,29088	7,66597	9,69710	3,79486	7,61907
Fa:10-9	10 x σ	1,04940	8,09154	11,17708	4,14399	7,38052
Fa:9-14	10 x σ	1,90304	8,29828	9,37420	3,38897	11,39017
Fa:14-9	10 x σ	1,58501	8,65003	10,22773	3,54718	10,58871
Fa:10-11	10 x σ	0,99627	8,27641	11,72657	4,25060	7,44804
Fa:11-10	10 x σ	1,21148	6,55239	8,49627	3,89000	5,58041
Fa:12-13	10 x σ	1,25578	5,93970	7,59288	3,83498	4,71909
Fa:13-12	10 x σ	1,04410	8,36736	11,58603	4,15401	7,75976
Fa:13-14	10 x σ	1,67641	7,45337	8,67871	3,49320	8,69303
Fa:14-13	10 x σ	1,38295	9,63843	11,89424	3,70213	11,32928
Ir:1	10 x σ	1,08478	7,57768	10,30619	4,08021	6,75383
Ir:2	10 x σ	3,93495	9,03313	9,32026	3,09536	24,49469
Ir:4	10 x σ	0,45984	3,98026	9,52704	7,18071	1,07894
Ir:5	10 x σ	0,19284	1,65271	8,72834	15,84374	—
Ir:6	10 x σ	0,87484	5,45424	8,28361	4,55624	3,26087
Ir:9	10 x σ	1,99908	9,61320	10,74887	3,35441	14,78211
Ir:10	10 x σ	1,67154	9,69652	11,29928	3,49588	13,04367
Ir:12	10 x σ	1,08580	9,23070	12,54904	4,07847	9,19731
Ir:13	10 x σ	1,92530	9,54970	10,76101	3,38053	14,20965
Ir:14	10 x σ	1,80735	9,74021	11,13173	3,42859	13,92230
Fr:1-2	10 x σ	2,14192	9,93441	10,96377	3,31085	16,39196
Fr:2-1	10 x σ	4,08553	9,05663	9,32398	3,08856	25,47502
Fr:5-1	10 x σ	0,80289	4,99959	7,98571	4,79182	2,56434
Fr:2-3	10 x σ	0,66188	3,61225	6,54471	5,43542	0,73422
Fr:2-4	10 x σ	0,97367	8,61325	12,34676	4,30038	7,83454
Fr:4-2	10 x σ	1,95773	8,40158	9,43416	3,36871	11,87453
Fr:2-5	10 x σ	1,06823	7,30451	10,00569	4,10939	6,29858
Fr:5-2	10 x σ	1,51455	9,33431	11,18541	3,59493	11,49612
Fr:4-3	10 x σ	0,81847	7,33228	11,57661	4,73657	5,59836
Fr:4-5	10 x σ	5,81842	9,03652	9,16901	3,04399	35,63795
Fr:4-7	10 x σ	2,56075	10,18804	10,93732	3,22064	19,76048
Fr:7-4	10 x σ	3,55924	8,79840	9,13907	3,11616	21,43701
Fr:9-4	10 x σ	1,40888	7,37273	9,04114	3,67888	7,55475
Fr:5-6	10 x σ	4,23122	9,23486	9,48927	3,08265	27,10781
Fr:6-5	10 x σ	1,98279	9,68597	10,84811	3,35995	14,84745
Fr:6-11	10 x σ	1,24237	6,06185	7,78160	3,85110	4,88312
Fr:6-12	10 x σ	2,86456	8,29319	8,78400	3,17755	16,06002
Fr:12-6	10 x σ	2,21710	10,15561	11,14083	3,29104	17,40379
Fr:6-13	10 x σ	4,00389	8,99478	9,27108	3,09215	24,73971
Fr:13-6	10 x σ	3,09567	10,52966	11,06542	3,15264	24,49532
Fr:7-8	10 x σ	0,92601	7,14430	10,51499	4,41540	5,64825
Fr:8-7	10 x σ	1,06746	6,51016	8,92057	4,11076	5,13430
Fr:9-7	10 x σ	0,37952	3,47003	9,77947	8,45481	0,50274
Fr:9-10	10 x σ	1,43392	6,82482	8,32055	3,65749	6,68644
Fr:10-9	10 x σ	1,16634	9,43890	12,43324	3,95170	9,89237
Fr:9-14	10 x σ	1,94007	8,23181	9,26101	3,37508	11,41911
Fr:14-9	10 x σ	1,49747	8,57798	10,31482	3,60743	10,04410
Fr:10-11	10 x σ	0,96448	6,97875	10,05281	4,32147	5,52778
Fr:11-10	10 x σ	1,20596	7,50179	9,74540	3,89723	7,05264
Fr:12-13	10 x σ	1,37228	7,70092	9,52870	3,71204	7,98209
Fr:13-12	10 x σ	1,12339	7,01301	9,38902	4,01640	6,03555
Fr:13-14	10 x σ	1,50946	6,76864	8,11925	3,59861	6,82371
Fr:14-13	10 x σ	1,12963	9,00376	12,02487	4,00662	9,05763
V:1	10 x σ	10,74223	9,00957	9,04852	3,01297	64,83524

4.1.6 Teste 3 do Cenário 2: EG simples

Os testes de EG simples realizados nesse cenário foram similares aos do cenário anterior, ou seja, em medidas com bom e “ruim” II , sendo adicionado 5σ na medida **Ir:2** e -12σ na medida **Ia:2** respectivamente. Observe pelos resultados da tabela 4.11, que o EG da medida **Ir:2**, foi detectado e identificado normalmente, já os resultados apresentados na tabela 4.12, mostram que o EG na medida **Ia:2**, não foi detectado, pois o EG adicionado nessa medida é menor do que o nível de detecção mínimo.

Observe os resultados da tabela 4.13, onde foi adicionado EG de -18σ na medida **Ia:2**. Nesse caso como o EG adicionado é maior o nível de detecção mínimo desta medida, então o EG é detectado e identificado normalmente.

Tabela 4.11: Sistema de 14 barras do IEEE, **Cenário 2:**

EG simples de 5σ na medida **Ir:2**

Medidas suspeitas de possuir EG com $ENC > 3$					
Medida	II	RN	ENC	TV	FI
Ir:5	0,21333	1,28226	6,14591	14,37907	–
Ia:2	0,25119	1,17753	4,83348	12,31431	–
Ir:2	3,54852	4,64378	4,82465	3,11685	6,06017
Fr:9-7	0,42035	1,34799	3,47865	7,74187	–
Fr:8-7	0,97035	2,32249	3,33506	4,30795	–
Fr:7-8	1,03053	2,32249	3,23622	4,18028	–
Medidas suspeitas de possuir EG com $ENC > 3$: Após Corrigir EG					
Medida	II	RN	ENC	TV	FI
Ir:5	0,21332	1,40952	6,75626	14,37997	–
Fr:9-7	0,42033	1,43867	3,71278	7,74213	–
Fr:8-7	0,97032	2,32133	3,33345	4,30802	–
Fr:7-8	1,03056	2,32133	3,23455	4,18021	–

Tabela 4.12: Sistema de 14 barras do IEEE, **Cenário 2:**

EG simples de -12σ na medida **Ia:2**

Medidas suspeitas de possuir EG com $ENC > 3$					
Medida	II	RN	ENC	TV	FI
Ia:2	0,25082	-2,91592	-11,98549	12,33108	–
Fr:2-3	0,60648	2,13640	4,11982	5,78518	–
Ia:4	0,97742	-2,28122	-3,26361	4,29194	–
Fr:4-3	0,91006	-2,07771	-3,08693	4,45721	–

Tabela 4.13: Sistema de 14 barras do IEEE, **Cenário 2:**EG simples de -18σ na medida **Ia:2**

Medidas suspeitas de possuir EG com ENC>3					
Medida	<i>II</i>	<i>RN</i>	<i>ENC</i>	<i>TV</i>	<i>FI</i>
Ia:2	0,25184	-4,50324	-18,43956	12,28420	1,55018
Ia:5	0,13339	-1,15986	-8,77219	22,68940	–
Fr:5-2	1,67058	3,09930	3,61214	3,49640	0,19334
Ia:1	4,77315	-3,09895	-3,16623	3,06513	0,48258
Medidas suspeitas de possuir EG com ENC>3: Após Corrigir EG					
Medida	<i>II</i>	<i>RN</i>	<i>ENC</i>	<i>TV</i>	<i>FI</i>
Ia:5	0,13348	-0,94353	-7,13122	22,67407	–

4.2 Simulações com sistema de 30 barras do IEEE

Para o sistema de 30 barras apresentado na Figura 4.2, será utilizado o seguinte cenário:

Cenário 1: NRG=2.72, medidas escolhidas apresentadas na tabela 4.14;

Os testes realizados nesse sistema são os mesmos do sistema de 14 barras e seus resultados estão tabulados na sequência.

Tabela 4.14: Sistema de 30 barras do IEEE, **Cenário 1**:

Valor e desvio padrão das medidas

Medidas de Potência Ativa			Medidas de Potência Reativa		
Medida	Valor (pu)	σ (pu)	Medida	Valor (pu)	σ (pu)
la:1	2,61000	0,02610	lr:1	-0,16500	0,00165
la:2	0,18300	0,00183	lr:2	0,36900	0,00369
la:4	-0,07600	0,00076	lr:4	-0,01600	0,00016
la:5	-0,94200	0,00942	lr:5	0,17900	0,00179
la:7	-0,22800	0,00228	lr:7	-0,10900	0,00109
la:8	-0,30000	0,00300	lr:8	0,07200	0,00072
la:12	-0,11200	0,00112	lr:12	-0,07500	0,00075
la:15	-0,08200	0,00082	lr:15	-0,02500	0,00025
la:16	-0,03500	0,00035	lr:16	-0,01800	0,00018
la:17	-0,09000	0,00090	lr:17	-0,05800	0,00058
la:19	-0,09500	0,00095	lr:19	-0,03400	0,00034
la:20	-0,02200	0,00022	lr:20	-0,00700	0,00007
la:21	-0,17500	0,00175	lr:21	-0,11200	0,00112
la:23	-0,03200	0,00032	lr:23	-0,01600	0,00016
la:24	-0,08700	0,00087	lr:24	-0,06700	0,00067
la:26	-0,03500	0,00035	lr:26	-0,02300	0,00023
la:27	0,00000	0,00000	lr:27	0,00000	0,00000
la:28	0,00000	0,00000	lr:28	0,00000	0,00000
la:29	-0,02400	0,00024	lr:29	-0,00900	0,00009
la:30	-0,10600	0,00106	lr:30	-0,01900	0,00019
Fa:1-2	1,73200	0,01732	Fr:1-2	-0,21100	0,00211
Fa:2-1	-1,68000	0,01680	Fr:2-1	0,30800	0,00308
Fa:1-3	0,87700	0,00877	Fr:1-3	0,04600	0,00046
Fa:4-2	-0,42600	0,00426	Fr:4-2	-0,04700	0,00047
Fa:2-5	0,82400	0,00824	Fr:2-5	0,01800	0,00018
Fa:5-2	-0,79400	0,00794	Fr:5-2	0,06200	0,00062
Fa:2-6	0,60300	0,00603	Fr:2-6	0,00400	0,00004
Fa:3-4	0,82200	0,00822	Fr:3-4	-0,03600	0,00036
Fa:4-3	-0,81300	0,00813	Fr:4-3	0,05200	0,00052
Fa:6-4	-0,71500	0,00715	Fr:6-4	0,17600	0,00176
Fa:4-12	0,44200	0,00442	Fr:4-12	0,14200	0,00142
Fa:12-4	-0,44200	0,00442	Fr:12-4	-0,09600	0,00096
Fa:5-7	-0,14800	0,00148	Fr:5-7	0,11700	0,00117
Fa:7-6	-0,37700	0,00377	Fr:7-6	0,02400	0,00024
Fa:6-8	0,29600	0,00296	Fr:6-8	-0,08100	0,00081
Fa:8-6	-0,29400	0,00294	Fr:8-6	0,07600	0,00076
Fa:6-9	0,27700	0,00277	Fr:6-9	-0,08200	0,00082
Fa:9-6	-0,27700	0,00277	Fr:9-6	0,09800	0,00098
Fa:10-6	-0,15800	0,00158	Fr:10-6	0,01100	0,00011
Fa:6-28	0,18700	0,00187	Fr:6-28	0,00000	0,00000
Fa:8-28	-0,00500	0,00005	Fr:8-28	-0,00400	0,00004
Fa:28-8	0,00500	0,00005	Fr:28-8	-0,04000	0,00040
Fa:11-9	0,00000	0,00000	Fr:11-9	0,16200	0,00162
Fa:9-10	0,27700	0,00277	Fr:9-10	0,05900	0,00059
Fa:10-20	0,09000	0,00090	Fr:10-20	0,03700	0,00037
Fa:20-10	-0,08900	0,00089	Fr:20-10	-0,03500	0,00035
Fa:17-10	-0,05300	0,00053	Fr:17-10	-0,04400	0,00044
Fa:10-21	0,15800	0,00158	Fr:10-21	0,10000	0,00100
Fa:21-10	-0,15700	0,00157	Fr:21-10	-0,09800	0,00098

Medidas de Potência Ativa			Medidas de Potência Reativa		
Medida	Valor (pu)	σ (pu)	Medida	Valor (pu)	σ (pu)
Fa:10-22	0,07600	0,00076	Fr:10-22	0,04600	0,00046
Fa:12-13	0,00000	0,00000	Fr:12-13	-0,10500	0,00105
Fa:12-14	0,07900	0,00079	Fr:12-14	0,02400	0,00024
Fa:14-12	-0,07800	0,00078	Fr:14-12	-0,02200	0,00022
Fa:15-12	-0,17700	0,00177	Fr:15-12	-0,06400	0,00064
Fa:12-16	0,07200	0,00072	Fr:12-16	0,03400	0,00034
Fa:16-12	-0,07200	0,00072	Fr:16-12	-0,03200	0,00032
Fa:14-15	0,01600	0,00016	Fr:14-15	0,00600	0,00006
Fa:15-14	-0,01600	0,00016	Fr:15-14	-0,00600	0,00006
Fa:15-18	0,06000	0,00060	Fr:15-18	0,01600	0,00016
Fa:18-15	-0,06000	0,00060	Fr:18-15	-0,01500	0,00015
Fa:23-15	-0,05000	0,00050	Fr:23-15	-0,02800	0,00028
Fa:16-17	0,03700	0,00037	Fr:16-17	0,01400	0,00014
Fa:17-16	-0,03700	0,00037	Fr:17-16	-0,01400	0,00014
Fa:18-19	0,02800	0,00028	Fr:18-19	0,00600	0,00006
Fa:19-18	-0,02800	0,00028	Fr:19-18	-0,00600	0,00006
Fa:20-19	0,06700	0,00067	Fr:20-19	0,02800	0,00028
Fa:21-22	-0,01800	0,00018	Fr:21-22	-0,01400	0,00014
Fa:22-21	0,01800	0,00018	Fr:22-21	0,01400	0,00014
Fa:22-24	0,05700	0,00057	Fr:22-24	0,03100	0,00031
Fa:24-22	-0,05700	0,00057	Fr:24-22	-0,03000	0,00030
Fa:23-24	0,01800	0,00018	Fr:23-24	0,01200	0,00012
Fa:25-24	0,01200	0,00012	Fr:25-24	-0,02000	0,00020
Fa:25-26	0,03500	0,00035	Fr:25-26	0,02400	0,00024
Fa:25-27	-0,04800	0,00048	Fr:25-27	-0,00400	0,00004
Fa:27-25	0,04800	0,00048	Fr:27-25	0,00400	0,00004
Fa:29-27	-0,06100	0,00061	Fr:29-27	-0,01500	0,00015
Fa:27-30	0,07100	0,00071	Fr:27-30	0,01700	0,00017
Fa:28-27	0,18100	0,00181	Fr:28-27	0,05000	0,00050
Fa:27-28	-0,18100	0,00181	Fr:27-28	-0,03700	0,00037
Fa:30-29	-0,03700	0,00037	Fr:30-29	-0,00500	0,00005
Medidas de Tensões					
Medida	Valor (pu)		σ (pu)		
V:1	1,06		0,0106		

Tabela 4.15: Sistema de 30 barras do IEEE, **Cenário 1**:

Variáveis de estados estimadas

Barra	Modulo (pu)	Fase (rad)	Fase (graus)
1	1,05903	0,00000	0,00
2	1,04199	-0,09346	-5,35
3	1,01969	-0,13174	-7,54
4	1,01076	-0,16221	-9,29
5	1,00890	-0,24787	-14,20
6	1,00932	-0,19321	-11,07
7	1,00135	-0,22499	-12,89
8	1,00906	-0,20624	-11,81
9	1,04995	-0,24699	-14,15
10	1,04416	-0,27452	-15,72
11	1,08113	-0,24699	-14,15

Barra	Modulo (pu)	Fase (rad)	Fase (graus)
12	1,05605	-0,26105	-14,95
13	1,06992	-0,26105	-14,95
14	1,04116	-0,27665	-15,85
15	1,03660	-0,27838	-15,95
16	1,04338	-0,27135	-15,54
17	1,03892	-0,27730	-15,88
18	1,02710	-0,28918	-16,56
19	1,02462	-0,29221	-16,74
20	1,02871	-0,28879	-16,54
21	1,03174	-0,28231	-16,17
22	1,03226	-0,28206	-16,16
23	1,02612	-0,28532	-16,34
24	1,02059	-0,28845	-16,52
25	1,01627	-0,28097	-16,09
26	0,99849	-0,28825	-16,51
27	1,02221	-0,27179	-15,57
28	1,00586	-0,20413	-11,69
29	1,00227	-0,29339	-16,80
30	0,99082	-0,30900	-17,70

4.2.1 Teste 1 do Cenário 1: Nível de detecção de EG

Os resultados apresentados na tabela 4.16, do teste de nível de detecção de EG para este cenário, mostram que, para este sistema, também quanto menor o II , maior deve ser o valor do EG atribuído na medida para que o EG seja detectado, já as medidas com II maior que um, o EG é detectado com valores menores. Lembre-se que o EG somente é detectado se $|ENC| > TV$, ou seja, o EG é detectado quando o valor do ENC sai da hiper-elipsóide que é limitada nas várias direções pelo TV .

Tabela 4.16: Sistema de 30 barras do IEEE **Cenário 1**:
Nível de detecção de EG de cada medida

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
la:1	3,0 x σ	4,08320	3,02182	3,11112	3,08866	0,09173
la:2	14,7 x σ	0,22568	3,00884	13,66782	13,62764	0,00907
la:4	44,3 x σ	0,05018	3,00482	59,95616	59,85994	0,00483
la:5	2,9 x σ	4,73809	3,06741	3,13498	3,06609	0,32642
la:7	6,9 x σ	0,57786	3,05356	6,10312	5,99607	0,06186
la:8	2,8 x σ	4,85856	3,20841	3,27566	3,06289	1,03380
la:12	7,1 x σ	0,68789	3,02122	5,33084	5,29340	0,02576
la:15	2,8 x σ	0,96490	3,70681	5,33841	4,32049	0,98219
la:16	5,6 x σ	0,66566	3,02897	5,46629	5,41400	0,03481
la:17	3,0 x σ	1,49734	3,08575	3,71063	3,60752	0,15439
la:19	3,8 x σ	2,13670	3,08649	3,40779	3,31230	0,20405
la:20	11,5 x σ	0,25146	3,02172	12,39085	12,30180	0,02239

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Ia:21	3,4 x σ	2,05826	3,04769	3,38835	3,33533	0,10912
Ia:23	5,4 x σ	0,71104	3,05547	5,27273	5,17700	0,06807
Ia:24	2,8 x σ	1,96430	3,15262	3,53764	3,36638	0,33639
Ia:26	2,8 x σ	0,95596	3,56905	5,16496	4,34146	0,78724
Ia:29	7,0 x σ	0,40469	3,00170	8,00170	7,99718	0,00183
Ia:30	3,2 x σ	2,31889	3,01809	3,28677	3,26707	0,04569
Fa:1-2	2,9 x σ	4,48316	3,07215	3,14764	3,07373	0,33139
Fa:2-1	3,3 x σ	4,31482	3,06560	3,14686	3,07952	0,29057
Fa:1-3	3,1 x σ	3,09058	3,04787	3,20344	3,15313	0,15549
Fa:4-2	3,4 x σ	3,26575	3,03600	3,17515	3,13750	0,12297
Fa:2-5	3,1 x σ	6,50161	3,03122	3,06687	3,03528	0,20537
Fa:5-2	3,0 x σ	6,26893	3,04789	3,08643	3,03793	0,30403
Fa:2-6	2,8 x σ	4,00200	3,08628	3,18117	3,09224	0,35591
Fa:3-4	3,4 x σ	1,98499	3,01493	3,37591	3,35919	0,03318
Fa:4-3	3,3 x σ	1,87508	3,02091	3,42366	3,39997	0,04443
Fa:6-4	3,8 x σ	1,93825	3,08756	3,47427	3,37575	0,19097
Fa:4-12	3,2 x σ	5,72755	3,04868	3,09480	3,04538	0,28303
Fa:12-4	3,1 x σ	5,38179	3,06487	3,11733	3,05135	0,35508
Fa:5-7	3,6 x σ	0,79007	3,00386	4,84546	4,83923	0,00492
Fa:7-6	2,8 x σ	1,75180	3,33120	3,83575	3,45438	0,66808
Fa:6-8	3,4 x σ	5,19403	3,00068	3,05579	3,05510	0,00362
Fa:8-6	2,8 x σ	4,88840	3,17231	3,23800	3,06213	0,85974
Fa:6-9	4,6 x σ	1,95251	3,08089	3,46146	3,37058	0,17744
Fa:9-6	2,8 x σ	1,82112	3,04141	3,46978	3,42253	0,08604
Fa:10-6	2,9 x σ	4,15364	3,09961	3,18817	3,08572	0,42556
Fa:6-28	3,5 x σ	5,02863	3,09022	3,15073	3,05874	0,46257
Fa:8-28	5,0 x σ	0,96944	3,02474	4,34558	4,31004	0,03446
Fa:28-8	5,5 x σ	1,06290	3,01925	4,14546	4,11903	0,02810
Fa:9-10	4,9 x σ	0,69074	3,00558	5,28838	5,27857	0,00678
Fa:10-20	3,5 x σ	2,61103	3,08081	3,29903	3,21250	0,22594
Fa:20-10	3,3 x σ	2,46209	3,08231	3,32684	3,23801	0,21872
Fa:17-10	4,5 x σ	0,63383	3,04493	5,68771	5,60379	0,05319
Fa:10-21	4,3 x σ	1,95513	3,05617	3,43273	3,36964	0,12335
Fa:21-10	3,3 x σ	1,83085	3,07213	3,50051	3,41833	0,15047
Fa:10-22	4,0 x σ	1,88472	3,01484	3,41292	3,39612	0,03166
Fa:12-14	3,8 x σ	3,19971	3,01859	3,16258	3,14310	0,06233
Fa:14-12	2,8 x σ	3,02064	3,24636	3,41963	3,16012	0,78387
Fa:15-12	2,8 x σ	3,94773	3,04675	3,14298	3,09475	0,19038
Fa:12-16	3,6 x σ	2,69210	3,08001	3,28563	3,20029	0,22976
Fa:16-12	3,2 x σ	2,53327	3,09656	3,32909	3,22528	0,26299
Fa:14-15	3,4 x σ	1,13595	3,00986	4,00997	3,99683	0,01492
Fa:15-14	4,6 x σ	1,05226	3,00082	4,13976	4,13864	0,00118
Fa:15-18	2,8 x σ	1,60134	3,57432	4,21402	3,53691	1,08428
Fa:18-15	4,3 x σ	1,49088	3,06134	3,68622	3,61235	0,11012
Fa:23-15	3,2 x σ	1,81673	3,01788	3,44485	3,42445	0,03707
Fa:16-17	3,9 x σ	1,61951	3,01102	3,53878	3,52583	0,02097
Fa:17-16	3,6 x σ	1,50958	3,08704	3,70293	3,59853	0,15761
Fa:18-19	4,5 x σ	1,11826	3,05883	4,10348	4,02456	0,08825
Fa:19-18	5,1 x σ	1,03179	3,04375	4,23872	4,17779	0,06287
Fa:20-19	3,9 x σ	1,80359	3,03609	3,47154	3,43027	0,07443
Fa:21-22	4,6 x σ	0,96453	3,02790	4,36155	4,32136	0,03876
Fa:22-21	4,8 x σ	1,05031	3,02458	4,17621	4,14227	0,03564
Fa:22-24	5,1 x σ	1,57686	3,04689	3,60792	3,55240	0,08754
Fa:24-22	3,3 x σ	1,47489	3,01584	3,64368	3,62455	0,02822
Fa:23-24	4,4 x σ	0,73844	3,03791	5,11405	5,05024	0,04712
Fa:25-24	11,8 x σ	0,26848	3,00501	11,58913	11,56982	0,00518
Fa:25-26	5,5 x σ	1,03842	3,01935	4,19177	4,16490	0,02790
Fa:25-27	3,1 x σ	1,28238	3,03601	3,84997	3,80431	0,05856
Fa:27-25	4,1 x σ	1,37365	3,04281	3,76371	3,71076	0,07274

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Fa:29-27	3,1 x σ	2,83931	3,00608	3,18707	3,18063	0,01830
Fa:27-30	3,8 x σ	2,85477	3,03920	3,22027	3,17873	0,11857
Fa:28-27	3,6 x σ	4,88792	3,03133	3,09412	3,06214	0,15630
Fa:27-28	2,8 x σ	4,58654	3,18520	3,26003	3,07048	0,86937
Fa:30-29	2,8 x σ	1,57094	3,18937	3,78073	3,55625	0,35266
Ir:1	2,8 x σ	1,14845	3,79194	5,02799	3,97790	1,20597
Ir:2	3,7 x σ	2,86173	3,04129	3,22163	3,17789	0,12518
Ir:4	23,2 x σ	0,07469	3,00080	40,29022	40,27951	0,00080
Ir:5	3,6 x σ	2,23907	3,04988	3,34023	3,28560	0,12231
Ir:7	3,6 x σ	1,82534	3,06630	3,49630	3,42070	0,13799
Ir:8	2,9 x σ	3,25266	3,01425	3,15348	3,13858	0,04848
Ir:12	3,8 x σ	0,61153	3,01669	5,78232	5,75033	0,01957
Ir:15	3,6 x σ	0,70700	3,02414	5,23850	5,19669	0,02956
Ir:16	4,9 x σ	0,77723	3,05465	4,97768	4,88863	0,06921
Ir:17	4,1 x σ	1,34407	3,04491	3,79522	3,73924	0,07524
Ir:19	2,8 x σ	2,22291	3,00742	3,29772	3,28959	0,01809
Ir:20	25,4 x σ	0,16829	3,00309	18,09545	18,07684	0,00313
Ir:21	3,1 x σ	2,18842	3,08599	3,39292	3,29837	0,20691
Ir:23	4,4 x σ	0,64685	3,03871	5,59483	5,52357	0,04610
Ir:24	3,5 x σ	2,08947	3,05691	3,38897	3,32587	0,13184
Ir:26	4,0 x σ	0,94675	3,05958	4,45026	4,36359	0,08205
Ir:29	5,3 x σ	0,87836	3,05472	4,62883	4,54591	0,07283
Ir:30	3,8 x σ	1,95850	3,01910	3,38988	3,36844	0,04199
Fr:1-2	3,9 x σ	2,13857	3,03373	3,34901	3,31178	0,07963
Fr:2-1	3,3 x σ	2,40542	3,00696	3,25646	3,24892	0,01813
Fr:1-3	5,5 x σ	0,96926	3,05293	4,38651	4,31045	0,07372
Fr:4-2	3,5 x σ	1,89319	3,07526	3,47791	3,39279	0,16114
Fr:2-5	4,3 x σ	0,32921	3,02280	9,66669	9,59377	0,02401
Fr:5-2	4,8 x σ	1,43225	3,05714	3,72857	3,65888	0,09981
Fr:2-6	38,9 x σ	0,14914	3,00415	20,36613	20,33801	0,00419
Fr:3-4	5,2 x σ	0,65871	3,01918	5,48849	5,45363	0,02296
Fr:4-3	3,8 x σ	1,26328	3,04131	3,87885	3,82616	0,06655
Fr:6-4	3,2 x σ	3,42088	3,07934	3,20821	3,12555	0,28278
Fr:4-12	2,8 x σ	4,17628	3,01546	3,10070	3,08480	0,06640
Fr:12-4	3,5 x σ	2,68091	3,01630	3,21930	3,20191	0,04663
Fr:5-7	3,4 x σ	2,47912	3,02514	3,26197	3,23487	0,06720
Fr:7-6	7,1 x σ	0,35936	3,00971	8,89958	8,87087	0,01032
Fr:6-8	3,3 x σ	3,96666	3,05704	3,15268	3,09386	0,23332
Fr:8-6	2,9 x σ	4,00218	3,06114	3,15525	3,09223	0,25221
Fr:6-9	3,1 x σ	2,09134	3,06359	3,39581	3,32532	0,14741
Fr:9-6	3,1 x σ	2,66256	3,02388	3,23012	3,20461	0,06791
Fr:10-6	6,9 x σ	0,85221	3,05021	4,70256	4,62516	0,06596
Fr:8-28	9,8 x σ	0,37333	3,02794	8,65738	8,57749	0,02983
Fr:28-8	3,1 x σ	5,91060	3,06293	3,10645	3,04263	0,37722
Fr:9-10	9,7 x σ	0,49967	3,00129	6,71460	6,71171	0,00144
Fr:10-20	3,1 x σ	2,79751	3,07244	3,26283	3,18591	0,21520
Fr:20-10	3,4 x σ	2,52440	3,02085	3,24923	3,22681	0,05660
Fr:17-10	3,8 x σ	0,91872	3,06058	4,52385	4,43430	0,08227
Fr:10-21	3,5 x σ	2,07356	3,08290	3,42268	3,33064	0,19084
Fr:21-10	3,3 x σ	1,90809	3,03634	3,42805	3,38703	0,07828
Fr:10-22	3,9 x σ	1,87766	3,06034	3,46729	3,39893	0,12836
Fr:12-13	4,4 x σ	1,07400	3,02655	4,13537	4,09909	0,03897
Fr:12-14	2,8 x σ	2,21377	3,07955	3,37916	3,29187	0,19323
Fr:14-12	3,5 x σ	1,95203	3,05436	3,43183	3,37075	0,11923
Fr:15-12	3,0 x σ	3,35426	3,06061	3,19373	3,13048	0,21215
Fr:12-16	3,4 x σ	2,42097	3,03447	3,28315	3,24585	0,09029
Fr:16-12	3,3 x σ	2,20496	3,04660	3,34527	3,29411	0,11281
Fr:14-15	5,2 x σ	1,13208	3,05781	4,07994	4,00281	0,08732
Fr:15-14	3,3 x σ	1,02718	3,03731	4,23895	4,18689	0,05348

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Fr:15-18	3,2 x σ	1,36325	3,04508	3,77648	3,72058	0,07621
Fr:18-15	3,3 x σ	1,17111	3,07962	4,04959	3,94489	0,12261
Fr:23-15	3,4 x σ	2,12693	3,06116	3,38262	3,31504	0,14374
Fr:16-17	3,9 x σ	1,40636	3,01265	3,69662	3,68109	0,02184
Fr:17-16	2,9 x σ	1,27569	3,02542	3,84417	3,81187	0,04121
Fr:18-19	5,7 x σ	1,08380	3,00156	4,08403	4,08192	0,00230
Fr:19-18	3,0 x σ	0,96745	3,02778	4,35457	4,31462	0,03865
Fr:20-19	3,7 x σ	2,03322	3,07086	3,42218	3,34322	0,16056
Fr:21-22	4,1 x σ	0,96564	3,03143	4,36404	4,31879	0,04370
Fr:22-21	4,3 x σ	1,05272	3,06750	4,23087	4,13777	0,09800
Fr:22-24	3,6 x σ	1,49654	3,05824	3,67816	3,60812	0,10482
Fr:24-22	4,2 x σ	1,35433	3,08491	3,83472	3,72918	0,14294
Fr:23-24	3,7 x σ	0,98871	3,02814	4,30694	4,26692	0,03957
Fr:25-24	3,7 x σ	0,81690	3,07582	4,86187	4,74202	0,09791
Fr:25-26	4,5 x σ	1,05367	3,02930	4,17640	4,13601	0,04256
Fr:25-27	2,8 x σ	0,86616	3,33535	5,09438	4,58216	0,44366
Fr:27-25	3,2 x σ	1,19315	3,06622	4,00073	3,91433	0,10309
Fr:29-27	3,3 x σ	2,45375	3,06740	3,31235	3,23957	0,17860
Fr:27-30	3,2 x σ	3,80114	3,06209	3,16629	3,10208	0,24406
Fr:28-27	3,1 x σ	6,35368	3,02357	3,06079	3,03693	0,15157
Fr:27-28	3,0 x σ	3,91952	3,01691	3,11355	3,09610	0,06840
Fr:30-29	4,2 x σ	0,78897	3,00600	4,85307	4,84338	0,00764
V:1	3,2 x σ	14,07824	3,03324	3,04088	3,00756	0,46914

4.2.2 Teste 2 do Cenário 1: Adiciona-se EG de 10σ na medida

Os resultados do teste, onde se adiciona EG de 10σ em cada medida, são como esperado, pois os níveis de detecção foram respeitados, ou seja, as medidas com nível de detecção inferior a 10σ , os erros foram detectados normalmente, já as medidas com nível de detecção maior que 10, não foi possível realizar suas detecções, pois não foi adicionado EG suficiente para fazer o ENC sair da hiper-elipsóide. Veja os resultados nas tabelas 4.16 e 4.17.

Tabela 4.17: Sistema de 30 barras do IEEE, **Cenário 1:**

EG de 10σ em cada medida

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
la:1	10 x σ	4,38074	9,33070	9,57072	3,07717	28,44654
la:2	10 x σ	0,21815	2,56750	12,04644	14,07566	–
la:4	10 x σ	0,08000	1,51066	18,94294	37,61862	–
la:5	10 x σ	4,39793	11,09277	11,37592	3,07658	36,49991
la:7	10 x σ	0,55803	5,92981	12,16886	6,15645	3,35511
la:8	10 x σ	4,52469	10,68986	10,94782	3,07239	35,63390
la:12	10 x σ	0,66749	5,90194	10,63082	5,40373	3,48901
la:15	10 x σ	0,88663	7,51037	11,32067	4,52202	6,02792
la:16	10 x σ	0,64112	7,98384	14,79256	5,55844	5,92015
la:17	10 x σ	1,41247	8,05713	9,87198	3,67574	8,75202

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Ia:19	10 x σ	1,98893	9,67488	10,82892	3,35785	14,85942
Ia:20	10 x σ	0,25416	2,31812	9,41077	12,17896	—
Ia:21	10 x σ	1,91325	10,03627	11,32448	3,38507	15,19007
Ia:23	10 x σ	0,67165	6,03738	10,82819	5,38057	3,65890
Ia:24	10 x σ	1,82438	9,77473	11,14683	3,42112	14,09461
Ia:26	10 x σ	0,91644	6,45406	9,55260	4,44028	4,68514
Ia:29	10 x σ	0,39335	4,41868	12,07117	8,19554	1,52449
Ia:30	10 x σ	2,16580	9,78515	10,77784	3,30435	16,18606
Fa:1-2	10 x σ	4,78130	8,84986	9,04135	3,06491	28,57514
Fa:2-1	10 x σ	4,00695	10,71330	11,04190	3,09201	31,85474
Fa:1-3	10 x σ	3,30792	9,08952	9,49578	3,13409	21,04397
Fa:4-2	10 x σ	3,04539	10,08290	10,61257	3,15760	22,70332
Fa:2-5	10 x σ	6,91098	8,73055	8,82147	3,03124	40,01611
Fa:5-2	10 x σ	5,81349	10,90816	11,06836	3,04406	46,64921
Fa:2-6	10 x σ	4,28523	8,86626	9,10447	3,08060	25,81368
Fa:3-4	10 x σ	2,10636	7,33495	8,11959	3,32092	10,10774
Fa:4-3	10 x σ	1,73791	10,39623	11,99443	3,46119	14,82998
Fa:6-4	10 x σ	1,80198	10,62053	12,14629	3,43099	15,70484
Fa:4-12	10 x σ	6,09687	8,90465	9,02363	3,04009	36,48088
Fa:12-4	10 x σ	4,99512	10,79183	11,00596	3,05953	39,69335
Fa:5-7	10 x σ	0,73931	7,66410	12,89205	5,04641	5,80034
Fa:7-6	10 x σ	1,62899	9,94586	11,67038	3,52017	13,27659
Fa:6-8	10 x σ	5,53777	8,89542	9,03929	3,04852	33,17551
Fa:8-6	10 x σ	4,54341	10,82337	11,08244	3,07181	36,39553
Fa:6-9	10 x σ	2,04303	8,48415	9,44595	3,34009	12,47443
Fa:9-6	10 x σ	1,67466	8,92119	10,39069	3,49416	11,54930
Fa:10-6	10 x σ	3,86254	10,42317	10,76682	3,09891	29,61762
Fa:6-28	10 x σ	5,35496	8,91946	9,07365	3,05186	32,24648
Fa:8-28	10 x σ	0,91304	7,30438	10,83308	4,44928	5,82864
Fa:28-8	10 x σ	1,12134	6,79748	9,10783	4,01965	5,70558
Fa:9-10	10 x σ	0,73341	5,07042	8,57357	5,07270	2,56756
Fa:10-20	10 x σ	2,75350	8,08299	8,59954	3,19172	14,89042
Fa:20-10	10 x σ	2,27497	10,50022	11,46987	3,27704	18,63847
Fa:17-10	10 x σ	0,60665	4,63456	8,93546	5,78402	1,91182
Fa:10-21	10 x σ	2,05590	7,44522	8,27924	3,33606	10,16269
Fa:21-10	10 x σ	1,69384	10,10682	11,73672	3,48380	13,97909
Fa:10-22	10 x σ	1,99773	8,03184	8,98191	3,35487	11,24132
Fa:12-14	10 x σ	3,39416	8,69925	9,06896	3,12750	20,16627
Fa:14-12	10 x σ	2,79497	10,65561	11,31709	3,18624	22,72548
Fa:15-12	10 x σ	3,65892	11,07080	11,47682	3,11003	30,61340
Fa:12-16	10 x σ	2,87526	8,83351	9,35252	3,17626	17,75834
Fa:16-12	10 x σ	2,35627	10,30772	11,19760	3,25899	18,70546
Fa:14-15	10 x σ	1,18802	6,25209	8,17214	3,92132	5,05006
Fa:15-14	10 x σ	0,98439	7,98639	11,38437	4,27641	6,99700
Fa:15-18	10 x σ	1,69210	7,64554	8,88087	3,48473	9,13082
Fa:18-15	10 x σ	1,39326	9,35633	11,51686	3,69275	10,90099
Fa:23-15	10 x σ	1,69878	9,42073	10,93178	3,48119	12,65690
Fa:16-17	10 x σ	1,71232	7,05943	8,17511	3,47412	8,04961
Fa:17-16	10 x σ	1,41794	9,07428	11,10395	3,67102	10,53947
Fa:18-19	10 x σ	1,18402	7,37105	9,64826	3,92682	6,77428
Fa:19-18	10 x σ	0,96828	7,52174	10,81301	4,31270	6,29410
Fa:20-19	10 x σ	1,89654	8,12857	9,18931	3,39149	10,99580
Fa:21-22	10 x σ	0,90935	7,27140	10,80801	4,45912	5,77339
Fa:22-21	10 x σ	1,11345	7,08092	9,51744	4,03229	6,10746
Fa:22-24	10 x σ	1,65426	7,45310	8,70904	3,50554	8,60794
Fa:24-22	10 x σ	1,36747	8,91833	11,04854	3,71657	10,02622
Fa:23-24	10 x σ	0,78062	4,89736	7,95886	4,87540	2,40700
Fa:25-24	10 x σ	0,26515	0,85314	3,32880	11,70544	—
Fa:25-26	10 x σ	1,11258	7,88539	10,60245	4,03371	7,30823

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Fa:25-27	10 x σ	1,20460	8,18024	10,63164	3,89902	8,11011
Fa:27-25	10 x σ	1,46339	7,86545	9,52649	3,63355	8,62367
Fa:29-27	10 x σ	2,63301	10,55641	11,29212	3,20908	21,28273
Fa:27-30	10 x σ	3,05810	8,78392	9,24163	3,15632	18,60947
Fa:28-27	10 x σ	5,23084	9,21166	9,37848	3,05433	33,08061
Fa:27-28	10 x σ	4,27212	10,63482	10,92229	3,08109	33,49852
Fa:30-29	10 x σ	1,45205	8,82766	10,71856	3,64261	10,27461
Ir:1	10 x σ	1,07124	8,17561	11,18422	4,10400	7,58461
Ir:2	10 x σ	3,05060	8,98094	9,45116	3,15707	19,20075
Ir:4	10 x σ	0,08781	1,03895	11,87717	34,29585	–
Ir:5	10 x σ	2,38407	8,53313	9,25339	3,25322	14,30484
Ir:7	10 x σ	1,71999	10,24712	11,85315	3,47019	14,41861
Ir:8	10 x σ	3,47951	8,46838	8,81117	3,12144	19,79751
Ir:12	10 x σ	0,57728	5,44651	10,89403	6,00055	2,82490
Ir:15	10 x σ	0,65664	6,65311	12,12123	5,46566	4,37027
Ir:16	10 x σ	0,72744	6,11618	10,39711	5,09981	3,85345
Ir:17	10 x σ	1,23996	9,74512	12,51936	3,85404	10,74468
Ir:19	10 x σ	2,05122	10,04233	11,17215	3,33752	16,07056
Ir:20	10 x σ	0,20474	1,94588	9,70141	14,95688	–
Ir:21	10 x σ	2,04965	8,88871	9,89021	3,33801	13,42967
Ir:23	10 x σ	0,60208	5,04803	9,78674	5,81617	2,39058
Ir:24	10 x σ	1,92365	10,68795	12,04584	3,38115	16,66781
Ir:26	10 x σ	0,88458	7,81834	11,80025	4,52791	6,43294
Ir:29	10 x σ	0,83180	6,91209	10,80877	4,69125	5,08857
Ir:30	10 x σ	1,81278	10,59174	12,09642	3,42619	15,71725
Fr:1-2	10 x σ	1,99994	9,44539	10,56033	3,35412	14,41196
Fr:2-1	10 x σ	2,56529	8,87819	9,52890	3,21988	16,18446
Fr:1-3	10 x σ	1,00934	6,37128	8,96873	4,22305	4,79003
Fr:4-2	10 x σ	1,76024	10,36275	11,91825	3,45031	14,90564
Fr:2-5	10 x σ	0,34726	4,50350	13,72833	9,14510	1,59158
Fr:5-2	10 x σ	1,49988	7,33850	8,82000	3,60564	7,82092
Fr:2-6	10 x σ	0,11870	1,14309	9,69806	25,45223	–
Fr:3-4	10 x σ	0,61935	6,66824	12,66421	5,69755	4,31482
Fr:4-3	10 x σ	1,33642	7,42184	9,26958	3,74688	7,38067
Fr:6-4	10 x σ	3,63512	8,76841	9,09414	3,11145	21,74785
Fr:4-12	10 x σ	4,47659	8,75119	8,96687	3,07394	26,38025
Fr:12-4	10 x σ	2,50795	10,58499	11,39541	3,22969	20,47922
Fr:5-7	10 x σ	2,63449	8,11181	8,67653	3,20885	14,40453
Fr:7-6	10 x σ	0,36794	3,72606	10,79054	8,68789	0,77365
Fr:6-8	10 x σ	3,69309	10,97507	11,37029	3,10803	30,51326
Fr:8-6	10 x σ	4,29056	8,90676	9,14547	3,08041	26,02255
Fr:6-9	10 x σ	1,94529	9,80706	11,02699	3,37318	14,88889
Fr:9-6	10 x σ	2,84887	9,02940	9,56951	3,17945	18,20445
Fr:10-6	10 x σ	0,87019	5,15731	7,85639	4,57005	2,85975
Fr:8-28	10 x σ	0,37271	3,02896	8,67292	8,59001	0,03090
Fr:28-8	10 x σ	5,47624	11,20826	11,39360	3,04961	45,69368
Fr:9-10	10 x σ	0,50450	3,75116	8,32805	6,66039	0,84134
Fr:10-20	10 x σ	2,97610	8,77767	9,25994	3,16483	18,13968
Fr:20-10	10 x σ	2,33986	10,23597	11,13159	3,26249	18,41260
Fr:17-10	10 x σ	0,84773	8,47226	13,10192	4,63935	7,17397
Fr:10-21	10 x σ	2,22067	9,30648	10,20656	3,29015	15,35906
Fr:21-10	10 x σ	1,78489	8,75574	10,03626	3,43875	11,77586
Fr:10-22	10 x σ	2,00275	8,95936	10,01412	3,35318	13,34020
Fr:12-13	10 x σ	1,01021	7,88443	11,09406	4,22126	6,94297
Fr:12-14	10 x σ	2,36621	8,55513	9,28775	3,25691	14,27025
Fr:14-12	10 x σ	1,81181	10,45753	11,94464	3,42661	15,43306
Fr:15-12	10 x σ	3,09561	10,99946	11,55914	3,15265	26,02321
Fr:12-16	10 x σ	2,54507	7,45133	8,00587	3,22327	12,17207
Fr:16-12	10 x σ	2,02649	11,22046	12,51222	3,34538	18,57655

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Fr:14-15	10 x σ	1,19705	7,53968	9,82439	3,90907	7,08093
Fr:15-14	10 x σ	0,96615	7,02925	10,11651	4,31761	5,60260
Fr:15-18	10 x σ	1,43456	6,77867	8,26309	3,65695	6,60776
Fr:18-15	10 x σ	1,09541	8,50132	11,51103	4,06209	8,15961
Fr:23-15	10 x σ	1,98193	9,73261	10,90130	3,36024	14,94585
Fr:16-17	10 x σ	1,45482	6,47673	7,85924	3,64038	6,13767
Fr:17-16	10 x σ	1,16212	9,73483	12,84279	3,95779	10,32544
Fr:18-19	10 x σ	1,13150	5,97437	7,97321	4,00371	4,49148
Fr:19-18	10 x σ	0,91454	7,13983	10,57952	4,44528	5,61002
Fr:20-19	10 x σ	2,14615	8,32720	9,18679	3,30968	12,61318
Fr:21-22	10 x σ	0,90749	7,71842	11,48535	4,46413	6,37168
Fr:22-21	10 x σ	1,11631	6,95341	9,33537	4,02768	5,92503
Fr:22-24	10 x σ	1,57173	6,97706	8,26952	3,55573	7,40881
Fr:24-22	10 x σ	1,26053	9,10091	11,61696	3,82938	9,81646
Fr:23-24	10 x σ	1,04873	7,19843	9,94643	4,14525	6,08385
Fr:25-24	10 x σ	0,76536	5,23741	8,61734	4,93603	2,81751
Fr:25-26	10 x σ	1,09362	5,74677	7,78707	4,06510	4,07042
Fr:25-27	10 x σ	0,82846	6,68152	10,47311	4,70243	4,78080
Fr:27-25	10 x σ	1,25116	6,43546	8,23842	3,84049	5,50252
Fr:29-27	10 x σ	2,28764	10,40286	11,35335	3,27410	18,48241
Fr:27-30	10 x σ	4,04469	8,40928	8,66249	3,09033	22,53762
Fr:28-27	10 x σ	6,76799	8,96837	9,06574	3,03257	40,83243
Fr:27-28	10 x σ	3,63390	11,11853	11,53184	3,11152	30,59859
Fr:30-29	10 x σ	1,02586	6,40618	8,94624	4,18951	4,87975
V:1	10 x σ	15,01655	9,02542	9,04541	3,00665	90,68138

4.2.3 Teste 3 do Cenário 1: EG simples

Os testes de EG simples, realizados nesse sistema mostram também que a proposta deste trabalho funciona perfeitamente, para todas as medidas, sejam elas ou não com bons II, lembrando que deve ser respeitado o valor do nível de detecção de EG de cada medida, independente do valor do II. Os resultados destes testes são apresentados nas tabelas 4.18 e 4.19, onde foram adicionados respectivamente EG de 7σ na medida **Fa:19-18** e de -13σ na medida **Fr:7-6**, pode-se observar nos resultados destas tabelas que as medidas com EG foram identificadas como portadoras do EG.

Após a correção das medidas com EG, algumas medidas ficaram como suspeitas de possuir EG (medidas com $|ENC| > 3$) veja os resultados da tabela 4.18 e 4.19, mas como nenhuma medida saiu da hiper-elipsóide ($|ENC| < TV$) então o sistema não possui EG.

Tabela 4.18: Sistema de 30 barras do IEEE, **Cenário 1:**EG simples de 7σ na medida **Fa:19-18**

Medidas suspeitas de possuir EG com $ENC > 3$					
Medida	<i>II</i>	<i>RN</i>	<i>ENC</i>	<i>TV</i>	<i>FI</i>
Ir:4	0,09822	-1,39997	-14,32163	30,68994	—
Fr:2-6	0,10796	0,98755	9,20072	27,95013	—
Fa:25-24	0,24255	-1,90078	-8,06395	12,72736	—
Fa:19-18	1,07676	5,15977	7,04174	4,09422	3,17377
Ia:4	0,08886	-0,54922	-6,20488	33,89295	—
Fa:18-19	1,07017	3,87879	5,30866	4,10591	1,28714
Fr:7-6	0,33638	-1,42978	-4,48449	9,40945	—
Fr:3-4	0,69402	-2,19625	-3,85198	5,26167	—
Fr:2-5	0,31828	-1,03971	-3,42814	9,89158	—
Fa:18-15	1,56801	2,82723	3,35325	3,55817	—
Fr:21-22	1,01063	2,19225	3,08405	4,22039	—
Medidas suspeitas de possuir EG com $ENC > 3$: Após Corrigir EG					
Medida	<i>II</i>	<i>RN</i>	<i>ENC</i>	<i>TV</i>	<i>FI</i>
Ir:4	0,09822	-1,38302	-14,14862	30,69061	—
Fr:2-6	0,10796	0,96565	8,99668	27,95001	—
Fa:25-24	0,24254	-1,82099	-7,72553	12,72750	—
Ia:4	0,08886	-0,51805	-5,85273	33,89314	—
Fr:7-6	0,33638	-1,42880	-4,48142	9,40946	—
Fr:3-4	0,69403	-2,18213	-3,82718	5,26161	—
Fr:2-5	0,31828	-1,04395	-3,44216	9,89171	—
Fr:21-22	1,01063	2,19050	3,08158	4,22039	—
Ia:2	0,19850	0,59872	3,07504	15,40806	—

Tabela 4.19: Sistema de 30 barras do IEEE, **Cenário 1:**EG simples de -13σ na medida **Fr:7-6**

Medidas suspeitas de possuir EG com $ENC > 3$					
Medida	<i>II</i>	<i>RN</i>	<i>ENC</i>	<i>TV</i>	<i>FI</i>
Fr:2-6	0,10795	2,40058	22,36817	27,95344	—
Fr:7-6	0,33636	-3,58474	-11,24431	9,41016	0,61693
Ia:4	0,08889	0,96663	10,91788	33,88438	—
Fr:2-5	0,31803	-1,80494	-5,95545	9,89859	—
Ia:7	0,62275	-2,47060	-4,67365	5,67514	—
Ir:20	0,22931	0,96789	4,33040	13,42227	—
Fa:5-7	0,82000	-2,46614	-3,88934	4,73128	—
Ir:7	1,91933	3,05874	3,44900	3,38277	0,12713
Ir:29	0,91779	2,19388	3,24455	4,43672	—
Fr:16-17	1,32338	2,52593	3,16598	3,76018	—
Medidas suspeitas de possuir EG com $ENC > 3$: Após Corrigir EG					
Medida	<i>II</i>	<i>RN</i>	<i>ENC</i>	<i>TV</i>	<i>FI</i>
Ia:4	0,08889	0,96199	10,86523	33,88352	—
Fr:2-6	0,10793	0,83749	7,80476	27,95774	—
Ir:20	0,22900	0,96910	4,34140	13,43941	—
Ia:7	0,62282	-1,82056	-3,44367	5,67464	—
Ir:29	0,91781	2,24347	3,31785	4,43668	—
Fr:16-17	1,32339	2,51977	3,15825	3,76017	—

4.3 Simulações com o sistema sul reduzido do Brasil de 45 barras

Os testes realizados nesse sistema mostram que a nova metodologia de processamento de EG é eficaz também em sistemas de maior porte que não são comumente utilizados nos estudos de EE. O sistema sul reduzido do Brasil de 45 barras é apresentado na Figura 4.3.

Figura 4.3: Sistema Elétrico de Potência sul reduzido do Brasil de 45 barras

O conjunto de medidas escolhidos como cenário para realização dos testes, possui **NRG=3,33**. Os valores das medidas e seus respectivos desvios padrões são apresentados na tabela 4.20. As variáveis de estados, obtidas após a simulação do EE, são apresentadas na tabela 4.21.

Tabela 4.20: Sistema sul reduzido do Brasil de 45 barras, **Cenário 1**:

Valor e desvio padrão das medidas

Medidas de Potência Ativa			Medidas de Potência Reativa		
Medida	Valor (pu)	σ (pu)	Medida	Valor (pu)	σ (pu)
la:366	6,50000	0,06500	lr:366	-0,38260	0,00383
la:367	-1,77000	0,01770	lr:367	-0,68000	0,00680
la:368	-1,91000	0,01910	lr:368	-0,42000	0,00420
la:369	2,15000	0,02150	lr:369	0,51338	0,00513
la:370	-1,71000	0,01710	lr:370	-0,18500	0,00185
la:371	-1,26000	0,01260	lr:371	-0,47000	0,00470
la:372	-0,46000	0,00460	lr:372	-0,14700	0,00147
la:373	8,95000	0,08950	lr:373	0,88866	0,00889
la:374	-2,81000	0,02810	lr:374	-0,56500	0,00565
la:375	-2,79000	0,02790	lr:375	-0,60700	0,00607
la:376	-1,30000	0,01300	lr:376	-0,29400	0,00294
la:377	-4,27000	0,04270	lr:377	0,25000	0,00250
la:378	-3,10000	0,03100	lr:378	-1,41000	0,01410
la:379	-4,24000	0,04240	lr:379	-0,90600	0,00906
la:380	-1,17000	0,01170	lr:380	-0,53100	0,00531
la:381	15,29400	0,15294	lr:381	-1,29930	0,01299
la:384	-3,68000	0,03680	lr:384	-0,59600	0,00596
la:386	-1,74000	0,01740	lr:386	0,08000	0,00080
la:390	13,25000	0,13250	lr:390	-0,56010	0,00560
la:392	0,90000	0,00900	lr:392	0,39017	0,00390
la:393	-1,25000	0,01250	lr:393	-0,39800	0,00398
la:394	1,20000	0,01200	lr:394	0,41259	0,00413
la:395	2,41000	0,02410	lr:395	0,69323	0,00693
la:397	11,00000	0,11000	lr:397	-1,40580	0,01406
la:399	-8,13000	0,08130	lr:399	-1,10000	0,01100
la:402	-6,12000	0,06120	lr:402	4,55000	0,04550
la:407	4,60000	0,04600	lr:407	1,04450	0,01045
la:408	-4,04000	0,04040	lr:408	-1,35000	0,01350
la:414	-3,93000	0,03930	lr:414	1,11000	0,01110
la:430	-2,62000	0,02620	lr:430	-0,13200	0,00132
la:431	-2,29000	0,02290	lr:431	-1,83000	0,01830
la:432	-1,84000	0,01840	lr:432	-0,60200	0,00602
la:433	-1,39000	0,01390	lr:433	-0,53700	0,00537
la:437	-0,90100	0,00901	lr:437	-0,55300	0,00553
Fa:343-344	6,17600	0,06176	Fr:343-344	-0,72040	0,00720
Fa:344-343	-6,16300	0,06163	Fr:344-343	-2,53500	0,02535
Fa:343-382	-1,10400	0,01104	Fr:343-382	-1,18400	0,01184
Fa:382-343	1,10600	0,01106	Fr:382-343	-1,22200	0,01222
Fa:343-391	-5,07200	0,05072	Fr:343-391	-0,76750	0,00768
Fa:391-343	5,10600	0,05106	Fr:391-343	-1,35500	0,01355
Fa:344-431	6,16300	0,06163	Fr:344-431	2,53500	0,02535

Medidas de Potência Ativa			Medidas de Potência Reativa		
Medida	Valor (pu)	σ (pu)	Medida	Valor (pu)	σ (pu)
Fa:431-344	-6,16300	0,06163	Fr:431-344	-2,26800	0,02268
Fa:366-386	6,50000	0,06500	Fr:366-386	-0,38260	0,00383
Fa:386-366	-6,50000	0,06500	Fr:386-366	0,93270	0,00933
Fa:367-368	0,11190	0,00112	Fr:367-368	-0,40800	0,00408
Fa:368-367	-0,10890	0,00109	Fr:368-367	0,08517	0,00085
Fa:367-396	-1,63100	0,01631	Fr:367-396	-0,28120	0,00281
Fa:396-367	1,65900	0,01659	Fr:396-367	0,33950	0,00340
Fa:367-437	-0,25080	0,00251	Fr:367-437	0,00915	0,00009
Fa:437-367	0,25110	0,00251	Fr:437-367	-0,27830	0,00278
Fa:368-370	-1,47200	0,01472	Fr:368-370	-0,04134	0,00041
Fa:370-368	1,52300	0,01523	Fr:370-368	-0,43470	0,00435
Fa:368-399	-0,32930	0,00329	Fr:368-399	-0,46380	0,00464
Fa:399-368	0,33020	0,00330	Fr:399-368	-0,03063	0,00031
Fa:369-370	2,15000	0,02150	Fr:369-370	0,51340	0,00513
Fa:370-369	-2,15000	0,02150	Fr:370-369	-0,30560	0,00306
Fa:370-371	-1,22100	0,01221	Fr:370-371	0,69440	0,00694
Fa:371-370	1,23800	0,01238	Fr:371-370	-0,90010	0,00900
Fa:370-408	0,13760	0,00138	Fr:370-408	-0,13910	0,00139
Fa:408-370	-0,13680	0,00137	Fr:408-370	-0,33620	0,00336
Fa:371-372	-1,10400	0,01104	Fr:371-372	0,22550	0,00226
Fa:372-371	1,12600	0,01126	Fr:372-371	-0,25930	0,00259
Fa:371-374	-1,39400	0,01394	Fr:371-374	0,20460	0,00205
Fa:374-371	1,45900	0,01459	Fr:374-371	-0,15180	0,00152
Fa:372-374	-1,58600	0,01586	Fr:372-374	0,11230	0,00112
Fa:374-372	1,62500	0,01625	Fr:374-372	-0,02751	0,00028
Fa:373-374	8,95000	0,08950	Fr:373-374	0,88870	0,00889
Fa:374-373	-8,95000	0,08950	Fr:374-373	-0,00229	0,00002
Fa:374-375	0,94970	0,00950	Fr:374-375	-0,26830	0,00268
Fa:375-374	-0,92240	0,00922	Fr:375-374	0,12530	0,00125
Fa:374-433	2,10600	0,02106	Fr:374-433	-0,11510	0,00115
Fa:433-374	-2,03200	0,02032	Fr:433-374	-0,10690	0,00107
Fa:375-376	1,36600	0,01366	Fr:375-376	-0,23680	0,00237
Fa:376-375	-1,32100	0,01321	Fr:376-375	0,25530	0,00255
Fa:375-382	-3,23400	0,03234	Fr:375-382	-0,49560	0,00496
Fa:382-375	3,23400	0,03234	Fr:382-375	0,80640	0,00806
Fa:376-377	0,02132	0,00021	Fr:376-377	-0,54930	0,00549
Fa:377-376	-0,02064	0,00021	Fr:377-376	0,01038	0,00010
Fa:377-378	2,51100	0,02511	Fr:377-378	0,65360	0,00654
Fa:378-377	-2,45000	0,02450	Fr:378-377	-0,66200	0,00662
Fa:377-383	-6,76000	0,06760	Fr:377-383	-0,41400	0,00414
Fa:383-377	6,76000	0,06760	Fr:383-377	0,68430	0,00684
Fa:378-379	-0,64970	0,00650	Fr:378-379	-0,74800	0,00748
Fa:379-378	0,65630	0,00656	Fr:379-378	0,51810	0,00518
Fa:379-380	0,74750	0,00748	Fr:379-380	-0,14720	0,00147
Fa:380-379	-0,74150	0,00742	Fr:380-379	-0,19260	0,00193
Fa:379-385	-5,64400	0,05644	Fr:379-385	-1,27700	0,01277
Fa:385-379	5,64400	0,05644	Fr:385-379	1,48400	0,01484
Fa:380-396	-0,42850	0,00429	Fr:380-396	-0,33840	0,00338
Fa:396-380	0,43050	0,00431	Fr:396-380	0,03868	0,00039
Fa:381-382	15,29000	0,15290	Fr:381-382	-1,29900	0,01299
Fa:382-381	-15,29000	0,15290	Fr:382-381	2,81000	0,02810
Fa:382-383	8,57600	0,08576	Fr:382-383	-1,17600	0,01176

Medidas de Potência Ativa			Medidas de Potência Reativa		
Medida	Valor (pu)	σ (pu)	Medida	Valor (pu)	σ (pu)
Fa:383-382	-8,44500	0,08445	Fr:383-382	-0,47060	0,00471
Fa:382-384	7,79200	0,07792	Fr:382-384	-1,43300	0,01433
Fa:384-382	-7,68400	0,07684	Fr:384-382	-0,52800	0,00528
Fa:382-386	5,66100	0,05661	Fr:382-386	-1,04200	0,01042
Fa:386-382	-5,61900	0,05619	Fr:386-382	-0,92660	0,00927
Fa:382-398	-11,08000	0,11080	Fr:382-398	1,25600	0,01256
Fa:398-382	11,13000	0,11130	Fr:398-382	-1,33300	0,01333
Fa:383-384	-3,99700	0,03997	Fr:383-384	-0,70060	0,00701
Fa:384-383	4,00400	0,04004	Fr:384-383	-0,06803	0,00068
Fa:383-385	5,68100	0,05681	Fr:383-385	-0,14830	0,00148
Fa:385-383	-5,64400	0,05644	Fr:385-383	-1,48400	0,01484
Fa:386-387	10,38000	0,10380	Fr:386-387	-0,98430	0,00984
Fa:387-386	-10,16000	0,10160	Fr:387-386	0,23470	0,00235
Fa:387-402	10,16000	0,10160	Fr:387-402	-1,81300	0,01813
Fa:402-387	-10,16000	0,10160	Fr:402-387	2,44100	0,02441
Fa:388-389	-7,79600	0,07796	Fr:388-389	-0,74130	0,00741
Fa:389-388	7,92600	0,07926	Fr:389-388	-1,54100	0,01541
Fa:388-414	7,79600	0,07796	Fr:388-414	-0,83980	0,00840
Fa:414-388	-7,79600	0,07796	Fr:414-388	1,20100	0,01201
Fa:389-391	-7,92600	0,07926	Fr:389-391	-0,26990	0,00270
Fa:391-389	8,01000	0,08010	Fr:391-389	-1,12200	0,01122
Fa:390-391	13,25000	0,13250	Fr:390-391	-0,56010	0,00560
Fa:391-390	-13,25000	0,13250	Fr:391-390	2,49500	0,02495
Fa:391-398	0,13380	0,00134	Fr:391-398	-0,01797	0,00018
Fa:398-391	-0,13370	0,00134	Fr:398-391	-0,87700	0,00877
Fa:392-393	0,90000	0,00900	Fr:392-393	0,39020	0,00390
Fa:393-392	-0,90000	0,00900	Fr:393-392	-0,31120	0,00311
Fa:393-396	-0,35000	0,00350	Fr:393-396	-0,08683	0,00087
Fa:396-393	0,35000	0,00350	Fr:396-393	0,09451	0,00095
Fa:394-396	1,20000	0,01200	Fr:394-396	0,41260	0,00413
Fa:396-394	-1,20000	0,01200	Fr:396-394	-0,30620	0,00306
Fa:395-396	2,41000	0,02410	Fr:395-396	0,69320	0,00693
Fa:396-395	-2,41000	0,02410	Fr:396-395	-0,42650	0,00427
Fa:396-437	1,17100	0,01171	Fr:396-437	0,26000	0,00260
Fa:437-396	-1,15200	0,01152	Fr:437-396	-0,27470	0,00275
Fa:397-398	11,00000	0,11000	Fr:397-398	-1,40600	0,01406
Fa:398-397	-11,00000	0,11000	Fr:398-397	2,21000	0,02210
Fa:399-402	-4,03000	0,04030	Fr:399-402	-2,11100	0,02111
Fa:402-399	4,04400	0,04044	Fr:402-399	2,10900	0,02109
Fa:399-414	-4,43000	0,04430	Fr:399-414	1,04100	0,01041
Fa:414-399	4,55000	0,04550	Fr:414-399	-0,42230	0,00422
Fa:407-408	4,60000	0,04600	Fr:407-408	1,04400	0,01044
Fa:408-407	-4,60000	0,04600	Fr:408-407	-0,53970	0,00540
Fa:408-414	0,69680	0,00697	Fr:408-414	-0,47410	0,00474
Fa:414-408	-0,68430	0,00684	Fr:414-408	0,33090	0,00331
Fa:430-431	-2,31300	0,02313	Fr:430-431	-0,20430	0,00204
Fa:431-430	2,34100	0,02341	Fr:431-430	0,17530	0,00175
Fa:430-432	-0,01923	0,00019	Fr:430-432	-0,00642	0,00006
Fa:432-430	0,01933	0,00019	Fr:432-430	-0,18990	0,00190
Fa:430-433	-0,28820	0,00288	Fr:430-433	0,07868	0,00079
Fa:433-430	0,29090	0,00291	Fr:433-430	-0,26190	0,00262
Fa:431-432	1,53200	0,01532	Fr:431-432	0,26300	0,00263

Medidas de Potência Ativa			Medidas de Potência Reativa		
Medida	Valor (pu)	σ (pu)	Medida	Valor (pu)	σ (pu)
Fa:432-431	-1,51100	0,01511	Fr:432-431	-0,43860	0,00439
Fa:432-433	-0,34840	0,00348	Fr:432-433	0,02658	0,00027
Fa:433-432	0,35090	0,00351	Fr:433-432	-0,16820	0,00168
Medidas de Tensões					
Medida	Valor (pu)		σ (pu)		
V:343	1,0338		0,010338		

Tabela 4.21: Sistema sul reduzido do Brasil de 45 barras, **Cenário 1:**

Variáveis de estados estimadas

Barra	Modulo (pu)	Fase (rad)	Fase (graus)
343	1,03417	-0,12021	-6,88
344	1,02550	-0,16194	-9,27
366	1,02026	-0,11661	-6,68
367	0,97402	-0,55435	-31,76
368	1,02053	-0,58647	-33,60
369	1,04026	-0,24476	-14,02
370	1,02197	-0,33715	-19,31
371	0,99883	-0,28004	-16,04
372	0,99683	-0,18222	-10,44
373	1,02034	0,05435	3,11
374	1,01535	-0,04432	-2,53
375	1,01661	-0,18879	-10,81
376	1,01461	-0,35950	-20,59
377	1,02594	-0,36274	-20,78
378	0,97215	-0,47281	-27,09
379	1,00224	-0,45193	-25,89
380	0,99298	-0,49287	-28,23
381	1,02240	0,00000	0,00
382	1,03570	-0,09668	-5,53
383	1,02926	-0,32322	-18,51
384	1,03331	-0,29753	-17,04
385	1,01074	-0,41727	-23,90
386	1,02894	-0,20038	-11,48
387	1,02604	-0,50689	-29,04
388	1,02690	-0,39491	-22,62
389	1,03253	-0,16859	-9,65
390	1,01825	0,12193	6,98
391	1,03529	-0,02215	-1,26
392	1,03031	-0,41943	-24,03
393	1,00033	-0,49543	-28,38
394	1,03045	-0,39353	-22,54
395	1,03030	-0,37013	-21,20
396	1,00561	-0,47489	-27,20
397	1,02036	0,04793	2,74
398	1,03231	-0,02282	-1,30
399	1,02890	-0,57817	-33,12
402	1,03888	-0,56603	-32,43
407	1,02025	-0,24989	-14,31
408	1,00176	-0,35665	-20,43

Barra	Modulo (pu)	Fase (rad)	Fase (graus)
414	1,03305	-0,44037	-25,23
430	0,99271	-0,26763	-15,33
431	1,01069	-0,19950	-11,43
432	0,98179	-0,26421	-15,13
433	0,97902	-0,22855	-13,09
437	0,97239	-0,54947	-31,48

4.3.1 Teste 1 do Cenário 1: Nível de detecção de EG

Os resultados do teste de nível de detecção de EG para este cenário, apresentado na tabela 4.22, mostra como já esperado, que quanto menor o $//$ da medida, maior deve ser o valor do EG atribuído na medida para que este erro seja detectado, já as medidas com $//$ maior que um, o EG é detectado com valores menores.

Tabela 4.22: Sistema sul reduzido do Brasil de 45 barras, **Cenário 1**:
Nível de detecção de EG de cada medida

Medida	EG	$//$	RN	ENC	TV	FI
la:366	3,6 x σ	3,02732	3,08215	3,24596	3,15944	0,26192
la:367	2,9 x σ	2,62074	3,08517	3,30214	3,21098	0,23891
la:368	2,9 x σ	4,90327	3,00788	3,06979	3,06176	0,03941
la:369	3,6 x σ	2,11713	3,07224	3,39771	3,31782	0,16914
la:370	3,5 x σ	1,20191	3,00430	3,90817	3,90258	0,00672
la:371	4,4 x σ	1,21283	3,08215	3,99473	3,88825	0,12914
la:372	4,5 x σ	0,65944	3,05463	5,54863	5,44940	0,06543
la:373	3,4 x σ	4,42848	3,00321	3,07883	3,07554	0,01459
la:374	4,1 x σ	0,94898	3,00461	4,36488	4,35818	0,00636
la:375	4,1 x σ	1,43823	3,05201	3,71725	3,65390	0,09111
la:376	3,0 x σ	3,28648	3,05030	3,18838	3,13580	0,17280
la:377	4,8 x σ	0,94768	3,04911	4,43271	4,36132	0,06765
la:378	3,5 x σ	2,85848	3,08258	3,26576	3,17828	0,25007
la:379	4,3 x σ	1,05163	3,00516	4,14693	4,13981	0,00748
la:380	3,3 x σ	1,93912	3,04624	3,42745	3,37543	0,10088
la:381	3,5 x σ	1,81283	3,04329	3,47561	3,42616	0,08963
la:384	2,8 x σ	1,02729	3,17124	4,42564	4,18666	0,24549
la:386	8,2 x σ	0,34732	3,01810	9,19899	9,14383	0,01916
la:390	3,5 x σ	2,18501	3,05229	3,35676	3,29926	0,12565
la:392	3,9 x σ	1,68677	3,06483	3,56295	3,48758	0,12713
la:393	3,1 x σ	2,14439	3,00207	3,31245	3,31017	0,00491
la:394	4,3 x σ	1,55339	3,07371	3,65554	3,56788	0,13617
la:395	4,4 x σ	1,68546	3,01215	3,50241	3,48829	0,02381
la:397	3,6 x σ	1,61758	3,02423	3,55547	3,52699	0,04608
la:399	3,4 x σ	2,54459	3,07773	3,30687	3,22335	0,21252

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Ia:402	3,6 x σ	0,89545	3,02783	4,53886	4,49715	0,03735
Ia:407	3,4 x σ	2,20036	3,01526	3,31205	3,29528	0,03689
Ia:408	3,0 x σ	1,71582	3,06450	3,54698	3,47232	0,12810
Ia:414	3,8 x σ	0,69162	3,02376	5,31581	5,27403	0,02889
Ia:430	2,9 x σ	3,25166	3,09036	3,23320	3,13866	0,30740
Ia:431	5,7 x σ	0,49228	3,01228	6,82028	6,79247	0,01369
Ia:432	2,8 x σ	3,28623	3,02097	3,15774	3,13582	0,07203
Ia:433	3,1 x σ	2,52730	3,00710	3,23394	3,22631	0,01930
Ia:437	3,5 x σ	1,66891	3,07492	3,58466	3,49733	0,14575
Fa:343-344	3,1 x σ	1,23968	3,06947	3,94365	3,85439	0,11065
Fa:344-343	3,8 x σ	1,14795	3,01610	4,00000	3,97865	0,02451
Fa:343-382	4,0 x σ	1,04310	3,03815	4,20877	4,15592	0,05512
Fa:382-343	3,5 x σ	1,12855	3,00175	4,01064	4,00831	0,00264
Fa:343-391	2,8 x σ	2,41060	3,34212	3,61828	3,24789	0,89285
Fa:391-343	4,2 x σ	2,57070	3,08670	3,31202	3,21899	0,23915
Fa:344-431	3,3 x σ	2,75020	3,02301	3,21665	3,19216	0,06734
Fa:431-344	3,3 x σ	2,57729	3,03973	3,26052	3,21791	0,10983
Fa:366-386	3,6 x σ	3,02724	3,07912	3,24277	3,15944	0,25224
Fa:386-366	2,9 x σ	2,83022	3,09990	3,28771	3,18176	0,29987
Fa:367-368	3,3 x σ	1,09398	3,02015	4,09179	4,06449	0,02987
Fa:368-367	4,6 x σ	0,96957	3,03231	4,35615	4,30973	0,04501
Fa:367-396	3,1 x σ	2,63586	3,09535	3,31063	3,20864	0,26882
Fa:396-367	3,2 x σ	2,76725	3,04633	3,23914	3,18987	0,13633
Fa:367-437	3,3 x σ	1,01388	3,04161	4,27215	4,21371	0,05925
Fa:437-367	3,7 x σ	1,10174	3,06837	4,14383	4,05149	0,10173
Fa:368-370	2,9 x σ	5,21726	3,03408	3,08931	3,05461	0,18105
Fa:370-368	3,3 x σ	5,41773	3,07802	3,13001	3,05068	0,42983
Fa:368-399	4,9 x σ	0,98489	3,04956	4,34593	4,27530	0,06956
Fa:399-368	5,8 x σ	1,07036	3,04997	4,17395	4,10557	0,07320
Fa:369-370	2,8 x σ	2,11669	3,18784	3,52569	3,31794	0,43974
Fa:370-369	3,5 x σ	1,97104	3,07370	3,44666	3,36402	0,16288
Fa:370-371	2,8 x σ	1,57907	3,13461	3,71031	3,55098	0,25159
Fa:371-370	3,9 x σ	1,68523	3,05106	3,54779	3,48841	0,10006
Fa:370-408	4,6 x σ	1,07752	3,00819	4,10405	4,09288	0,01203
Fa:408-370	5,6 x σ	0,99337	3,02024	4,28555	4,25683	0,02853
Fa:371-372	2,9 x σ	3,31809	3,08029	3,21714	3,13328	0,27825
Fa:372-371	2,8 x σ	3,42325	3,10064	3,23023	3,12538	0,35892
Fa:371-374	3,3 x σ	6,02337	3,06705	3,10903	3,04106	0,40937
Fa:374-371	2,8 x σ	6,19992	3,04054	3,07984	3,03877	0,25461
Fa:372-374	3,1 x σ	5,75591	3,06260	3,10848	3,04494	0,36574
Fa:374-372	3,1 x σ	6,01427	3,08322	3,12555	3,04119	0,50736
Fa:373-374	3,1 x σ	4,42703	3,02445	3,10065	3,07558	0,11096
Fa:374-373	3,0 x σ	4,15712	3,02145	3,10764	3,08558	0,09171
Fa:374-375	3,3 x σ	2,87876	3,01729	3,19415	3,17585	0,05268
Fa:375-374	3,2 x σ	2,77209	3,04712	3,23933	3,18923	0,13887
Fa:374-433	2,9 x σ	5,10688	3,05579	3,11383	3,05697	0,29034
Fa:433-374	3,2 x σ	4,93122	3,05030	3,11238	3,06106	0,25306
Fa:375-376	3,3 x σ	3,46565	3,04341	3,16757	3,12239	0,15658
Fa:376-375	3,4 x σ	3,34435	3,10231	3,23803	3,13124	0,35713
Fa:375-382	3,6 x σ	2,45270	3,01497	3,25593	3,23976	0,03965

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Fa:382-375	3,2 x σ	2,61977	3,06111	3,27654	3,21113	0,17136
Fa:376-377	3,3 x σ	1,07784	3,05980	4,17389	4,09232	0,08792
Fa:377-376	4,5 x σ	0,92680	3,04706	4,48259	4,41336	0,06416
Fa:377-378	3,4 x σ	3,02835	3,04982	3,21180	3,15933	0,15889
Fa:378-377	3,0 x σ	2,89822	3,01296	3,18727	3,17356	0,03975
Fa:377-383	3,6 x σ	2,10824	3,01548	3,33751	3,32038	0,03613
Fa:383-377	3,0 x σ	2,25552	3,00799	3,29037	3,28163	0,01970
Fa:378-379	4,5 x σ	1,06345	3,03003	4,15924	4,11803	0,04383
Fa:379-378	3,8 x σ	1,15480	3,04310	4,02550	3,96849	0,06584
Fa:379-380	2,9 x σ	1,34094	3,07054	3,83034	3,74235	0,11799
Fa:380-379	4,5 x σ	1,25600	3,03289	3,87677	3,83473	0,05281
Fa:379-385	3,0 x σ	1,66929	3,05693	3,56347	3,49712	0,11077
Fa:385-379	3,7 x σ	1,79205	3,06523	3,51018	3,43548	0,13387
Fa:380-396	4,3 x σ	1,04472	3,02275	4,18432	4,15283	0,03290
Fa:396-380	3,3 x σ	1,12801	3,01927	4,03490	4,00915	0,02904
Fa:381-382	3,8 x σ	1,81383	3,06155	3,49601	3,42572	0,12749
Fa:382-381	3,8 x σ	1,67657	3,08858	3,59625	3,49311	0,17292
Fa:382-383	2,9 x σ	5,31731	3,05352	3,10705	3,05259	0,28956
Fa:383-382	3,2 x σ	5,05768	3,01400	3,07235	3,05808	0,07219
Fa:382-384	2,9 x σ	5,04009	3,06068	3,12035	3,05848	0,31181
Fa:384-382	3,3 x σ	4,78529	3,06787	3,13414	3,06481	0,33178
Fa:382-386	3,0 x σ	2,65163	3,08453	3,29659	3,20625	0,23955
Fa:386-382	3,8 x σ	2,50215	3,08767	3,32513	3,23072	0,23624
Fa:382-398	3,8 x σ	1,77550	3,02845	3,47575	3,44310	0,05796
Fa:398-382	3,8 x σ	1,90169	3,07782	3,47742	3,38949	0,16721
Fa:383-384	3,7 x σ	1,56858	3,01427	3,57471	3,55779	0,02654
Fa:384-383	4,2 x σ	1,68242	3,06725	3,56816	3,48993	0,13162
Fa:383-385	3,0 x σ	2,23569	3,08127	3,37545	3,28643	0,19903
Fa:385-383	3,2 x σ	2,10205	3,07385	3,40395	3,32217	0,17191
Fa:386-387	2,9 x σ	9,36404	3,02007	3,03724	3,01706	0,18901
Fa:387-386	3,3 x σ	8,86565	3,10275	3,12242	3,01902	0,91668
Fa:387-402	4,4 x σ	2,17359	3,06072	3,36910	3,30227	0,14527
Fa:402-387	2,8 x σ	2,02472	3,29488	3,67484	3,34595	0,66591
Fa:388-389	3,0 x σ	3,15292	3,07889	3,23004	3,14728	0,26095
Fa:389-388	3,6 x σ	3,31344	3,04694	3,18268	3,13365	0,16248
Fa:388-414	3,0 x σ	2,34106	3,03977	3,30548	3,26223	0,10123
Fa:414-388	3,7 x σ	2,18875	3,04375	3,34639	3,29828	0,10528
Fa:389-391	3,8 x σ	2,48058	3,07619	3,31674	3,23460	0,20376
Fa:391-389	2,9 x σ	2,63367	3,04936	3,26178	3,20898	0,13906
Fa:390-391	3,7 x σ	2,18061	3,02797	3,33118	3,30041	0,06710
Fa:391-390	3,3 x σ	2,02064	3,03725	3,38884	3,34728	0,08398
Fa:391-398	4,2 x σ	1,04460	3,03788	4,20548	4,15305	0,05477
Fa:398-391	5,2 x σ	0,95714	3,05956	4,42481	4,33866	0,08245
Fa:392-393	4,4 x σ	1,68899	3,05422	3,54940	3,48639	0,10642
Fa:393-392	2,8 x σ	1,57019	3,06550	3,63439	3,55674	0,12193
Fa:393-396	6,0 x σ	0,99551	3,01421	4,27236	4,25223	0,02004
Fa:396-393	4,1 x σ	1,08326	3,02030	4,11047	4,08285	0,02992
Fa:394-396	3,7 x σ	1,54209	3,07370	3,66340	3,57556	0,13546
Fa:396-394	4,2 x σ	1,42901	3,01825	3,68387	3,66160	0,03184
Fa:395-396	3,4 x σ	1,67972	3,06602	3,56823	3,49140	0,12905

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Fa:396-395	3,4 x σ	1,55699	3,06966	3,64825	3,56547	0,12890
Fa:396-437	3,1 x σ	2,62248	3,03516	3,24834	3,21071	0,09869
Fa:437-396	3,8 x σ	2,49513	3,02893	3,26314	3,23197	0,07778
Fa:397-398	3,1 x σ	1,61657	3,01418	3,54428	3,52760	0,02696
Fa:398-397	3,2 x σ	1,50152	3,02159	3,63037	3,60443	0,03895
Fa:399-402	4,0 x σ	1,19430	3,05439	3,98371	3,91278	0,08472
Fa:402-399	4,0 x σ	1,28775	3,05585	3,86903	3,79832	0,09106
Fa:399-414	3,7 x σ	2,80212	3,03008	3,21725	3,18531	0,08949
Fa:414-399	2,9 x σ	2,91498	3,06589	3,24128	3,17162	0,20306
Fa:407-408	3,6 x σ	2,21177	3,04455	3,34127	3,29238	0,10813
Fa:408-407	3,0 x σ	2,06203	3,00453	3,33920	3,33417	0,01038
Fa:408-414	5,3 x σ	1,50826	3,04574	3,65437	3,59949	0,08278
Fa:414-408	3,9 x σ	1,39651	3,02060	3,71516	3,68982	0,03539
Fa:430-431	3,4 x σ	2,88640	3,09843	3,27911	3,17494	0,30066
Fa:431-430	3,2 x σ	3,04698	3,08114	3,24283	3,15744	0,26019
Fa:430-432	5,8 x σ	0,95771	3,03795	4,39218	4,33732	0,05254
Fa:432-430	4,0 x σ	1,05396	3,05278	4,20823	4,13547	0,07669
Fa:430-433	4,0 x σ	1,85295	3,00626	3,41612	3,40900	0,01319
Fa:433-430	2,8 x σ	1,97512	3,09931	3,47391	3,36260	0,21986
Fa:431-432	3,1 x σ	2,98570	3,01172	3,17615	3,16380	0,03689
Fa:432-431	3,3 x σ	2,83307	3,05891	3,24388	3,18140	0,17699
Fa:432-433	4,4 x σ	1,77514	3,07663	3,53122	3,44327	0,15612
Fa:433-432	3,2 x σ	1,88878	3,02011	3,41727	3,39452	0,04297
Ir:366	3,5 x σ	1,04738	3,05421	4,22275	4,14780	0,07850
Ir:367	3,0 x σ	3,61959	3,02345	3,13672	3,11239	0,08807
Ir:368	3,3 x σ	4,21004	3,08332	3,16910	3,08347	0,36052
Ir:369	4,8 x σ	1,92079	3,04119	3,42866	3,38222	0,08920
Ir:370	6,6 x σ	0,36637	3,03295	8,81640	8,72062	0,03509
Ir:371	4,5 x σ	1,29871	3,08577	3,89454	3,78630	0,14058
Ir:372	3,8 x σ	0,91297	3,04585	4,51745	4,44945	0,06208
Ir:373	3,5 x σ	2,09596	3,00717	3,33190	3,32396	0,01665
Ir:374	3,5 x σ	2,99514	3,00186	3,16475	3,16279	0,00586
Ir:375	3,1 x σ	1,33090	3,03504	3,79630	3,75247	0,05833
Ir:376	3,5 x σ	2,51409	3,07322	3,30741	3,22861	0,19811
Ir:377	5,7 x σ	0,55613	3,02482	6,22355	6,17248	0,02840
Ir:378	3,8 x σ	2,71274	3,02477	3,22374	3,19734	0,07161
Ir:379	5,5 x σ	0,83265	3,00255	4,69242	4,68843	0,00332
Ir:380	2,8 x σ	3,92541	3,10193	3,20100	3,09582	0,41288
Ir:381	3,9 x σ	1,03376	3,07146	4,27336	4,17394	0,10278
Ir:384	4,0 x σ	1,77208	3,02638	3,47500	3,44471	0,05368
Ir:386	51,7 x σ	0,10237	3,00505	29,50736	29,45779	0,00508
Ir:390	4,4 x σ	0,97439	3,01291	4,31725	4,29875	0,01803
Ir:392	3,0 x σ	1,82042	3,07403	3,50731	3,42284	0,15377
Ir:393	4,0 x σ	1,79316	3,08726	3,53488	3,43497	0,17915
Ir:394	3,9 x σ	1,62743	3,06178	3,59360	3,52110	0,11800
Ir:395	3,8 x σ	1,69714	3,06657	3,55933	3,48205	0,13114
Ir:397	3,2 x σ	1,12003	3,07591	4,12350	4,02174	0,11397
Ir:399	4,6 x σ	0,72108	3,03860	5,19524	5,12925	0,04759
Ir:402	3,0 x σ	2,70817	3,06948	3,27205	3,19799	0,20057
Ir:407	3,9 x σ	1,84768	3,04933	3,46729	3,41120	0,10363

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Ir:408	2,9 x σ	2,47670	3,01133	3,24753	3,23531	0,03027
Ir:414	4,3 x σ	1,34135	3,07357	3,83371	3,74194	0,12309
Ir:430	4,9 x σ	0,91530	3,03957	4,50188	4,44327	0,05365
Ir:431	3,7 x σ	1,14131	3,04622	4,05009	3,98865	0,07013
Ir:432	2,8 x σ	6,27813	3,01191	3,04988	3,03782	0,07574
Ir:433	2,8 x σ	4,31812	3,08376	3,16537	3,07940	0,37125
Ir:437	3,1 x σ	4,50044	3,05950	3,13412	3,07317	0,27433
Fr:343-344	11,4 x σ	0,30042	3,02386	10,50985	10,42693	0,02491
Fr:344-343	2,8 x σ	2,99521	3,21883	3,39349	3,16278	0,69101
Fr:343-382	3,4 x σ	2,27921	3,06857	3,35093	3,27605	0,17066
Fr:382-343	2,8 x σ	2,17719	3,11578	3,42873	3,30131	0,27740
Fr:343-391	4,5 x σ	1,01085	3,01678	4,24354	4,21993	0,02386
Fr:391-343	2,8 x σ	2,01689	3,20504	3,57736	3,34850	0,46158
Fr:344-431	3,5 x σ	1,88812	3,01781	3,41494	3,39478	0,03806
Fr:431-344	2,9 x σ	1,60271	3,02410	3,56447	3,53606	0,04552
Fr:366-386	2,8 x σ	1,04894	3,39339	4,68836	4,14485	0,57011
Fr:386-366	3,3 x σ	2,27164	3,07652	3,36142	3,27781	0,18991
Fr:367-368	2,8 x σ	6,01666	3,00313	3,04433	3,04115	0,01908
Fr:368-367	4,5 x σ	0,89879	3,06066	4,57863	4,48788	0,08157
Fr:367-396	4,4 x σ	1,48828	3,03054	3,65111	3,61432	0,05477
Fr:396-367	2,9 x σ	1,91966	3,02862	3,41492	3,38264	0,06195
Fr:367-437	61,6 x σ	0,06680	3,02411	45,37324	45,01150	0,02416
Fr:437-367	3,0 x σ	9,27754	3,03751	3,05511	3,01738	0,35005
Fr:368-370	16,5 x σ	0,26483	3,00664	11,74441	11,71849	0,00686
Fr:370-368	3,1 x σ	3,30872	3,00470	3,13893	3,13402	0,01625
Fr:368-399	3,0 x σ	7,89294	3,07940	3,10402	3,02398	0,63173
Fr:399-368	29,2 x σ	0,07710	3,63398	47,27532	39,02775	0,63586
Fr:369-370	3,6 x σ	1,92442	3,05421	3,44195	3,38086	0,11757
Fr:370-369	4,4 x σ	0,99350	3,00205	4,25945	4,25654	0,00288
Fr:370-371	3,0 x σ	3,04743	3,08469	3,24652	3,15739	0,27163
Fr:371-370	3,3 x σ	3,96298	3,10100	3,19820	3,09404	0,41280
Fr:370-408	3,8 x σ	0,81096	3,03038	4,81109	4,76286	0,03911
Fr:408-370	3,1 x σ	3,16478	3,02025	3,16743	3,14620	0,06719
Fr:371-372	2,9 x σ	2,12700	3,01392	3,33040	3,31502	0,03272
Fr:372-371	3,6 x σ	2,53120	3,05348	3,28314	3,22564	0,14555
Fr:371-374	3,3 x σ	2,33615	3,00889	3,27297	3,26329	0,02260
Fr:374-371	3,3 x σ	2,25844	3,04827	3,33373	3,28093	0,11923
Fr:372-374	3,7 x σ	1,43935	3,05398	3,71870	3,65297	0,09461
Fr:374-372	15,3 x σ	0,20671	3,09251	15,27682	14,81981	0,09447
Fr:373-374	4,0 x σ	2,09127	3,04273	3,37270	3,32534	0,09905
Fr:374-375	2,8 x σ	2,73957	3,02083	3,21579	3,19361	0,06076
Fr:375-374	5,7 x σ	1,11610	3,05379	4,10024	4,02803	0,08060
Fr:374-433	9,1 x σ	0,49916	3,00715	6,73325	6,71725	0,00799
Fr:433-374	8,1 x σ	0,45329	3,02508	7,32720	7,26645	0,02754
Fr:375-376	3,3 x σ	2,23744	3,05321	3,34428	3,28600	0,13039
Fr:376-375	3,1 x σ	2,28613	3,00630	3,28133	3,27445	0,01573
Fr:375-382	3,8 x σ	1,45747	3,04086	3,68780	3,63825	0,07223
Fr:382-375	3,1 x σ	1,98890	3,00701	3,36570	3,35785	0,01560
Fr:376-377	2,8 x σ	10,18328	3,00694	3,02140	3,01443	0,07099
Fr:377-376	73,2 x σ	0,08936	3,00068	33,71241	33,70476	0,00068

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Fr:377-378	3,8 x σ	2,72863	3,01989	3,21630	3,19512	0,05780
Fr:378-377	2,8 x σ	2,13813	3,00903	3,32187	3,31190	0,02132
Fr:377-383	3,0 x σ	1,26544	3,03372	3,86662	3,82365	0,05439
Fr:383-377	4,2 x σ	1,97837	3,02854	3,39345	3,36147	0,06327
Fr:378-379	2,9 x σ	2,51025	3,07734	3,31253	3,22928	0,20897
Fr:379-378	3,8 x σ	1,58845	3,01536	3,56314	3,54499	0,02884
Fr:379-380	5,6 x σ	0,79596	3,03729	4,87709	4,81722	0,04765
Fr:380-379	4,1 x σ	1,30599	3,01103	3,79235	3,77846	0,01814
Fr:379-385	3,3 x σ	1,66504	3,06664	3,57721	3,49948	0,12943
Fr:385-379	3,6 x σ	2,04336	3,03827	3,38259	3,33999	0,08705
Fr:380-396	3,2 x σ	6,58054	3,06184	3,09699	3,03444	0,41162
Fr:396-380	23,1 x σ	0,18336	3,01290	16,70534	16,63384	0,01311
Fr:381-382	3,3 x σ	1,03188	3,06984	4,27487	4,17762	0,10035
Fr:382-381	4,1 x σ	1,44414	3,07444	3,73957	3,64903	0,13076
Fr:382-383	2,8 x σ	1,64775	3,10669	3,63405	3,50925	0,20565
Fr:383-382	3,2 x σ	1,24101	3,07693	3,95155	3,85276	0,12261
Fr:382-384	3,0 x σ	2,23892	3,08142	3,37481	3,28564	0,19964
Fr:384-382	4,2 x σ	1,54800	3,06302	3,64655	3,57153	0,11615
Fr:382-386	3,5 x σ	1,72528	3,08076	3,56085	3,46751	0,16105
Fr:386-382	4,0 x σ	1,60072	3,01625	3,55646	3,53730	0,03067
Fr:382-398	4,3 x σ	0,96576	3,04558	4,38413	4,31852	0,06336
Fr:398-382	5,1 x σ	0,90980	3,06546	4,55518	4,45791	0,08850
Fr:383-384	3,0 x σ	4,56265	3,01644	3,08804	3,07121	0,07679
Fr:384-383	27,1 x σ	0,11013	3,04310	27,79870	27,40499	0,04336
Fr:383-385	27,0 x σ	0,11165	4,81974	43,43724	27,03708	1,83105
Fr:385-383	3,4 x σ	2,80529	3,06983	3,25905	3,18491	0,20798
Fr:386-387	2,9 x σ	2,09530	3,05524	3,38536	3,32415	0,12824
Fr:387-386	11,8 x σ	0,32113	3,00722	9,83557	9,81194	0,00759
Fr:387-402	5,1 x σ	0,88004	3,05534	4,62478	4,54101	0,07372
Fr:402-387	2,8 x σ	1,58725	3,10408	3,66877	3,54575	0,19526
Fr:388-389	7,3 x σ	0,78220	3,06582	4,97613	4,86929	0,08357
Fr:389-388	3,7 x σ	1,34021	3,07460	3,83616	3,74308	0,12475
Fr:388-414	5,5 x σ	0,91735	3,02809	4,47945	4,43789	0,03812
Fr:414-388	2,8 x σ	1,79671	3,10359	3,55192	3,43336	0,21301
Fr:389-391	23,6 x σ	0,16648	3,00238	18,28277	18,26828	0,00241
Fr:391-389	5,0 x σ	0,78710	3,06225	4,95115	4,85050	0,07922
Fr:390-391	3,0 x σ	0,97443	3,03582	4,35000	4,29866	0,05002
Fr:391-390	4,8 x σ	1,10358	3,02762	4,08572	4,04844	0,04114
Fr:398-391	3,0 x σ	9,83482	3,07761	3,09348	3,01547	0,76724
Fr:392-393	4,4 x σ	1,81600	3,01151	3,43791	3,42477	0,02386
Fr:393-392	3,2 x σ	1,33237	3,08400	3,85601	3,75098	0,13994
Fr:393-396	5,2 x σ	0,90023	3,05455	4,56545	4,48391	0,07340
Fr:396-393	4,0 x σ	1,13428	3,05873	4,07769	3,99940	0,08881
Fr:394-396	3,9 x σ	1,63169	3,00518	3,52465	3,51858	0,00991
Fr:396-394	3,6 x σ	0,97028	3,05717	4,39022	4,30812	0,07966
Fr:395-396	3,2 x σ	1,69480	3,02220	3,50907	3,48329	0,04369
Fr:396-395	3,8 x σ	0,73981	3,00974	5,06055	5,04418	0,01211
Fr:396-437	3,4 x σ	2,00001	3,04138	3,40036	3,35410	0,09253
Fr:437-396	3,2 x σ	2,14126	3,03036	3,34454	3,31103	0,07176
Fr:397-398	4,1 x σ	1,12268	3,07142	4,11317	4,01752	0,10738

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Fr:398-397	3,0 x σ	1,66177	3,04811	3,55745	3,50130	0,09331
Fr:399-402	2,8 x σ	2,06912	3,25274	3,61271	3,33199	0,58083
Fr:402-399	3,6 x σ	2,17352	3,08300	3,39365	3,30229	0,19858
Fr:399-414	3,4 x σ	2,35103	3,08343	3,35077	3,26010	0,21316
Fr:414-399	4,1 x σ	0,73115	3,02519	5,12556	5,08289	0,03120
Fr:407-408	3,9 x σ	1,84588	3,04020	3,45767	3,41195	0,08439
Fr:408-407	3,9 x σ	0,70852	3,00735	5,20198	5,18925	0,00901
Fr:408-414	3,3 x σ	2,44653	3,09424	3,34274	3,24093	0,24907
Fr:414-408	4,4 x σ	1,57546	3,04465	3,60619	3,55331	0,08331
Fr:430-431	4,6 x σ	1,84898	3,07563	3,49664	3,41066	0,15899
Fr:431-430	4,1 x σ	1,18837	3,01408	3,93923	3,92083	0,02186
Fr:430-432	14,9 x σ	0,12768	3,00371	23,71579	23,68647	0,00374
Fr:432-430	3,0 x σ	8,82880	3,05656	3,07610	3,01918	0,50252
Fr:430-433	3,5 x σ	3,63700	3,07289	3,18693	3,11133	0,27494
Fr:433-430	2,9 x σ	7,52650	3,02262	3,04918	3,02636	0,17176
Fr:431-432	3,0 x σ	3,55876	3,07797	3,19718	3,11619	0,28823
Fr:432-431	3,3 x σ	5,47340	3,00426	3,05399	3,04966	0,02369
Fr:432-433	6,2 x σ	0,39470	3,00129	8,17485	8,17134	0,00139
Fr:433-432	2,9 x σ	5,21702	3,06900	3,12487	3,05462	0,36654
V:343	3,2 x σ	21,46056	3,08948	3,09284	3,00326	1,92244

4.3.2 Teste 2 do Cenário 1: Adiciona-se EG de 10σ na medida

Observando os resultados do teste de nível de detecção de EG, conclui-se que para a maioria das medidas, o nível de detecção de EG é inferior a 10σ , assim no teste onde se acrescenta EG de 10σ em cada medida, um por vez, praticamente em todas as medidas o erro será detectado, as exceções estão destacadas na tabela 4.23.

Tabela 4.23: Sistema sul reduzido do Brasil de 45 barras, **Cenário 1:**
EG de 10σ em cada medida

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Ia:366	10 x σ	3,22837	8,62986	9,03438	3,14063	19,02721
Ia:367	10 x σ	2,44380	9,96497	10,76698	3,24145	18,39092
Ia:368	10 x σ	4,55158	10,94567	11,20673	3,07155	37,02791
Ia:369	10 x σ	2,25233	7,78415	8,51688	3,28239	11,78979
Ia:370	10 x σ	1,11506	8,86422	11,90669	4,02969	8,78335
Ia:371	10 x σ	1,14366	8,63521	11,47069	3,98509	8,56101
Ia:372	10 x σ	0,61929	5,57526	10,58925	5,69799	3,02910
Ia:373	10 x σ	4,75508	9,13183	9,33158	3,06562	29,79508
Ia:374	10 x σ	0,89639	5,92321	8,87401	4,49453	3,92572
Ia:375	10 x σ	1,35187	9,02163	11,22161	3,73157	10,12558
Ia:376	10 x σ	3,04788	10,55698	11,11068	3,15735	24,24081

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Ia:377	10 x σ	0,87987	8,56680	12,96879	4,54153	7,41485
Ia:378	10 x σ	2,64058	10,58395	11,31749	3,20792	21,41398
Ia:379	10 x σ	0,98861	7,69383	10,94360	4,26716	6,60037
Ia:380	10 x σ	1,80749	9,70954	11,09647	3,42853	13,85976
Ia:381	10 x σ	1,94622	8,89050	9,99543	3,37284	12,88898
Ia:384	10 x σ	0,94088	7,31928	10,68120	4,37797	5,93055
Ia:386	10 x σ	0,34107	3,09638	9,59202	9,29347	0,10183
Ia:390	10 x σ	2,33456	8,39237	9,12988	3,26364	13,69511
Ia:392	10 x σ	1,80009	8,32035	9,51802	3,43184	10,95568
Ia:393	10 x σ	1,99413	9,82579	10,99205	3,35608	15,22707
Ia:394	10 x σ	1,63769	7,40067	8,67128	3,51506	8,44428
Ia:395	10 x σ	1,78353	7,87958	9,03362	3,43938	9,97752
Ia:397	10 x σ	1,72709	7,86932	9,09323	3,46659	9,71773
Ia:399	10 x σ	2,34207	11,10923	12,07949	3,26202	20,65117
Ia:402	10 x σ	0,83276	6,97643	10,90198	4,68806	5,17469
Ia:407	10 x σ	2,33912	8,18778	8,90463	3,26265	13,19724
Ia:408	10 x σ	1,58334	9,52758	11,26871	3,54824	12,22411
Ia:414	10 x σ	0,65715	4,20014	7,64801	5,46268	1,43608
Ia:430	10 x σ	2,99707	10,39609	10,95951	3,16259	23,36793
Ia:431	10 x σ	0,47057	4,32573	10,15947	7,04584	1,46518
Ia:432	10 x σ	3,02994	10,34389	10,89270	3,15917	23,43212
Ia:433	10 x σ	2,32622	10,05957	10,94969	3,26545	17,87521
Ia:437	10 x σ	1,56641	9,63364	11,42942	3,55922	12,32792
Fa:343-344	10 x σ	1,31900	8,14766	10,22456	3,76472	8,52053
Fa:344-343	10 x σ	1,07061	7,78055	10,64667	4,10511	7,00349
Fa:343-382	10 x σ	0,99040	6,68653	9,50214	4,26326	5,18858
Fa:382-343	10 x σ	1,19158	7,11359	9,28668	3,91645	6,39907
Fa:343-391	10 x σ	2,25272	9,33557	10,21405	3,28230	15,61529
Fa:391-343	10 x σ	2,75118	9,26806	9,86131	3,19203	18,34839
Fa:344-431	10 x σ	2,90323	8,55159	9,04466	3,17298	17,04686
Fa:431-344	10 x σ	2,37202	10,39712	11,28330	3,25570	19,04160
Fa:366-386	10 x σ	3,22600	8,55521	8,95682	3,14083	18,76237
Fa:386-366	10 x σ	2,61700	10,75003	11,50812	3,21156	21,71213
Fa:367-368	10 x σ	1,13786	5,69232	7,57820	3,99391	4,07841
Fa:368-367	10 x σ	0,92300	6,69404	9,86961	4,42316	5,02704
Fa:367-396	10 x σ	2,45981	10,11325	10,91702	3,23843	18,88783
Fa:396-367	10 x σ	2,95896	8,70785	9,19169	3,16669	17,82770
Fa:367-437	10 x σ	0,95981	7,59121	10,96269	4,33239	6,36380
Fa:437-367	10 x σ	1,18035	7,53083	9,87017	3,93190	7,00921
Fa:368-370	10 x σ	4,84474	10,96260	11,19369	3,06324	39,38993
Fa:370-368	10 x σ	5,78762	8,92215	9,05435	3,04445	34,78303
Fa:368-399	10 x σ	0,93087	7,03920	10,33119	4,40300	5,51838
Fa:399-368	10 x σ	1,11800	6,19612	8,31307	4,02497	4,79411
Fa:369-370	10 x σ	2,24849	7,61902	8,33856	3,28332	11,36663
Fa:370-369	10 x σ	1,82578	10,44223	11,90592	3,42051	15,49250
Fa:370-371	10 x σ	1,46243	8,50371	10,30169	3,63431	9,75057
Fa:371-370	10 x σ	1,78425	8,92181	10,22750	3,43904	12,11232
Fa:370-408	10 x σ	1,14699	7,28993	9,67153	3,98009	6,52799
Fa:408-370	10 x σ	0,94657	6,69110	9,73340	4,36403	5,08246
Fa:371-372	10 x σ	3,06265	10,52038	11,06698	3,15587	24,22900

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Fa:372-371	10 x σ	3,69043	8,93128	9,25337	3,10819	22,67834
Fa:371-374	10 x σ	5,59653	10,75074	10,92102	3,04752	44,06427
Fa:374-371	10 x σ	6,62379	9,14293	9,24654	3,03400	41,15058
Fa:372-374	10 x σ	5,35033	10,97810	11,16820	3,05195	43,42464
Fa:374-372	10 x σ	6,43801	9,04373	9,15218	3,03597	39,37617
Fa:373-374	10 x σ	4,77333	9,51548	9,72205	3,06513	31,77569
Fa:374-373	10 x σ	3,89007	10,09874	10,42708	3,09754	28,51242
Fa:374-375	10 x σ	3,06030	8,53826	8,98254	3,15610	17,83067
Fa:375-374	10 x σ	2,56564	10,44675	11,21223	3,21982	20,50561
Fa:374-433	10 x σ	5,42433	9,23706	9,39271	3,05055	34,40196
Fa:433-374	10 x σ	4,55246	10,50744	10,75795	3,07152	34,99211
Fa:375-376	10 x σ	3,69020	8,68640	8,99969	3,10820	21,74077
Fa:376-375	10 x σ	3,10717	10,51982	11,05121	3,15154	24,54563
Fa:375-382	10 x σ	2,27711	10,33313	11,28563	3,27654	18,23758
Fa:382-375	10 x σ	2,78804	8,46127	8,98907	3,18714	16,17603
Fa:376-377	10 x σ	1,13601	6,80808	9,07006	3,99675	5,76331
Fa:377-376	10 x σ	0,89062	5,78203	8,69365	4,51069	3,72543
Fa:377-378	10 x σ	3,22676	9,35980	9,79897	3,14076	21,48439
Fa:378-377	10 x σ	2,67264	10,23675	10,92984	3,20312	20,65076
Fa:377-383	10 x σ	1,93122	10,51787	11,84428	3,37833	16,34962
Fa:383-377	10 x σ	2,38099	8,21934	8,91483	3,25385	13,47874
Fa:378-379	10 x σ	0,98803	9,07185	12,90746	4,26841	8,53567
Fa:379-378	10 x σ	1,20866	5,89449	7,65043	3,89369	4,54061
Fa:379-380	10 x σ	1,42723	7,20610	8,79889	3,66310	7,32995
Fa:380-379	10 x σ	1,18477	8,38437	10,97171	3,92577	8,34783
Fa:379-385	10 x σ	1,58038	8,63789	10,22191	3,55014	10,54389
Fa:385-379	10 x σ	1,93176	8,66341	9,75538	3,37813	12,31928
Fa:380-396	10 x σ	0,98179	7,36494	10,51265	4,28217	6,11700
Fa:396-380	10 x σ	1,20856	8,24381	10,69996	3,89382	8,22560
Fa:381-382	10 x σ	1,93876	8,49764	9,56143	3,37556	11,99289
Fa:382-381	10 x σ	1,55629	9,14132	10,86578	3,56593	11,36066
Fa:382-383	10 x σ	5,68226	8,93124	9,06850	3,04610	34,22079
Fa:383-382	10 x σ	4,69964	10,83186	11,07436	3,06716	37,63092
Fa:382-384	10 x σ	5,37079	8,89207	9,04489	3,05156	32,18892
Fa:384-382	10 x σ	4,43505	10,88388	11,15712	3,07531	35,84319
Fa:382-386	10 x σ	2,83776	9,45255	10,02229	3,18082	19,41442
Fa:386-382	10 x σ	2,33389	9,49381	10,32858	3,26378	16,48845
Fa:382-398	10 x σ	1,64957	8,87169	10,37457	3,50820	11,32658
Fa:398-382	10 x σ	2,02746	8,79043	9,80152	3,34507	13,09020
Fa:383-384	10 x σ	1,44601	8,37473	10,18229	3,64750	9,44935
Fa:384-383	10 x σ	1,76074	8,27915	9,52124	3,45008	10,68970
Fa:383-385	10 x σ	2,38639	8,49518	9,21090	3,25275	14,21846
Fa:385-383	10 x σ	1,95310	9,91062	11,13414	3,37037	15,16339
Fa:386-387	10 x σ	9,99582	9,06819	9,11346	3,01498	60,95930
Fa:387-386	10 x σ	8,20800	11,35273	11,43667	3,02218	69,06616
Fa:387-402	10 x σ	2,32593	8,41000	9,15433	3,26552	13,69697
Fa:402-387	10 x σ	1,88362	10,63843	12,04469	3,39656	16,28978
Fa:388-389	10 x σ	2,90537	10,56181	11,16991	3,17273	23,23478
Fa:389-388	10 x σ	3,51349	8,73751	9,08452	3,11915	20,95927
Fa:388-414	10 x σ	2,49849	8,60477	9,26839	3,23137	15,08343

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Fa:414-388	10 x σ	2,03782	9,90516	11,03350	3,34174	15,67444
Fa:389-391	10 x σ	2,32068	9,49131	10,33499	3,26667	16,40330
Fa:391-389	10 x σ	2,82910	8,60435	9,12605	3,18190	16,81662
Fa:390-391	10 x σ	2,32451	7,84289	8,53785	3,26583	12,25488
Fa:391-390	10 x σ	1,86373	10,13579	11,50265	3,40456	15,09262
Fa:391-398	10 x σ	1,11054	7,34779	9,88770	4,03701	6,49744
Fa:398-391	10 x σ	0,89694	7,63948	11,44142	4,49301	6,23228
Fa:392-393	10 x σ	1,78367	7,55134	8,65714	3,43931	9,30689
Fa:393-392	10 x σ	1,45800	9,40622	11,40607	3,63783	11,32609
Fa:393-396	10 x σ	0,92936	8,01576	11,77469	4,40683	6,84740
Fa:396-393	10 x σ	1,16225	7,98874	10,53875	3,95760	7,64894
Fa:394-396	10 x σ	1,64739	7,90230	9,24426	3,50946	9,44743
Fa:396-394	10 x σ	1,33402	9,12889	11,40901	3,74931	10,21816
Fa:395-396	10 x σ	1,78587	8,00316	9,17242	3,43830	10,24039
Fa:396-395	10 x σ	1,44080	9,12400	11,10626	3,65178	10,74041
Fa:396-437	10 x σ	2,80514	8,73040	9,26856	3,18493	17,06542
Fa:437-396	10 x σ	2,32736	10,02912	10,91571	3,26521	17,80544
Fa:397-398	10 x σ	1,71141	7,03937	8,15299	3,47460	8,00662
Fa:398-397	10 x σ	1,38949	9,64426	11,88224	3,69616	11,37445
Fa:399-402	10 x σ	1,10053	10,14765	13,71116	4,05350	10,62855
Fa:402-399	10 x σ	1,36604	7,00464	8,68091	3,71792	6,77965
Fa:399-414	10 x σ	2,60690	10,68836	11,44776	3,21315	21,46682
Fa:414-399	10 x σ	3,11832	8,44744	8,87117	3,15048	17,83895
Fa:407-408	10 x σ	2,33499	8,00959	8,71322	3,26354	12,72491
Fa:408-407	10 x σ	1,89227	10,17544	11,50893	3,39315	15,35726
Fa:408-414	10 x σ	1,58685	7,58111	8,96087	3,54600	8,59261
Fa:414-408	10 x σ	1,30449	9,49231	11,96050	3,78006	10,67129
Fa:430-431	10 x σ	2,67495	10,33287	11,03130	3,20278	20,94089
Fa:431-430	10 x σ	3,24499	8,70291	9,10678	3,13922	19,36465
Fa:430-432	10 x σ	0,89463	7,75382	11,62924	4,49943	6,37857
Fa:432-430	10 x σ	1,10267	6,33996	8,55882	4,04994	4,97181
Fa:430-433	10 x σ	1,72447	9,09743	10,51636	3,46791	12,15487
Fa:433-430	10 x σ	2,08552	8,16360	9,05356	3,32705	11,94276
Fa:431-432	10 x σ	3,18385	8,79340	9,21693	3,14449	19,33375
Fa:432-431	10 x σ	2,62238	10,28166	11,00385	3,21072	20,43652
Fa:432-433	10 x σ	1,65537	8,78418	10,26258	3,50491	11,18646
Fa:433-432	10 x σ	2,00541	8,62567	9,63860	3,35229	12,60663
Ir:366	10 x σ	0,96875	8,63017	12,40334	4,31162	7,83882
Ir:367	10 x σ	3,35416	10,94021	11,41608	3,13049	27,79117
Ir:368	10 x σ	3,91648	10,25171	10,58061	3,09625	29,31232
Ir:369	10 x σ	2,02742	7,75227	8,64398	3,34508	10,74311
Ir:370	10 x σ	0,35442	3,78561	11,33205	8,98037	0,83349
Ir:371	10 x σ	1,22684	9,15116	11,80604	3,87035	9,73579
Ir:372	10 x σ	0,85595	6,96060	10,70418	4,61347	5,21335
Ir:373	10 x σ	2,25321	9,09106	9,94617	3,28218	15,01538
Ir:374	10 x σ	2,78470	10,12878	10,76207	3,18757	21,09274
Ir:375	10 x σ	1,23771	9,11606	11,71962	3,85681	9,73189
Ir:376	10 x σ	2,33438	9,81829	10,68124	3,26368	17,31543
Ir:377	10 x σ	0,57473	3,96442	7,95600	6,02055	1,11236
Ir:378	10 x σ	2,51414	10,23314	11,01290	3,22860	19,57083

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Ir:379	10 x σ	0,79474	5,59450	8,99180	4,82177	3,31407
Ir:380	10 x σ	3,65256	10,75133	11,14699	3,11040	29,35412
Ir:381	10 x σ	0,97366	7,43786	10,66193	4,30040	6,19399
Ir:384	10 x σ	1,64664	9,60811	11,24112	3,50988	12,73056
Ir:386	10 x σ	0,07442	-1,36599	-18,40584	40,42295	-
Ir:390	10 x σ	0,91012	7,80036	11,58890	4,45706	6,49082
Ir:392	10 x σ	1,94030	8,63371	9,71291	3,37500	12,29744
Ir:393	10 x σ	1,67737	9,16959	10,67547	3,49268	12,04820
Ir:394	10 x σ	1,74144	8,38048	9,66393	3,45944	10,80471
Ir:395	10 x σ	1,80284	8,15491	9,32542	3,43060	10,62740
Ir:397	10 x σ	1,05347	8,02672	11,06716	4,13637	7,30139
Ir:399	10 x σ	0,67458	6,96832	12,46044	5,36447	4,78682
Ir:402	10 x σ	2,87845	8,26369	8,74817	3,17588	16,03957
Ir:407	10 x σ	1,95274	7,96020	8,94328	3,37050	10,88216
Ir:408	10 x σ	2,31359	10,30171	11,22282	3,26824	18,40361
Ir:414	10 x σ	1,42030	7,03367	8,60217	3,66900	7,00656
Ir:430	10 x σ	0,85824	8,31294	12,76414	4,60637	7,00136
Ir:431	10 x σ	1,07638	6,69843	9,14309	4,09488	5,43379
Ir:432	10 x σ	5,79917	11,26076	11,42695	3,04428	48,61256
Ir:433	10 x σ	3,94724	11,18960	11,54310	3,09478	33,34757
Ir:437	10 x σ	4,15444	11,11480	11,43226	3,08569	34,67534
Fr:343-344	10 x σ	0,30166	2,61784	9,06434	10,38757	-
Fr:344-343	10 x σ	2,79122	10,96980	11,65257	3,18672	23,63001
Fr:343-382	10 x σ	2,12589	10,10179	11,16359	3,31533	16,68455
Fr:382-343	10 x σ	2,01888	9,92021	11,07047	3,34785	15,59103
Fr:343-391	10 x σ	0,95857	8,33337	12,04251	4,33529	7,38795
Fr:391-343	10 x σ	1,86637	10,16414	11,53118	3,40349	15,16930
Fr:344-431	10 x σ	2,01169	8,58411	9,58620	3,35021	12,54484
Fr:431-344	10 x σ	1,49544	8,74718	10,52268	3,60894	10,33907
Fr:366-386	10 x σ	0,98372	7,50389	10,70028	4,27789	6,31783
Fr:386-366	10 x σ	2,39711	7,85090	8,50666	3,25058	12,59937
Fr:367-368	10 x σ	5,58210	11,12073	11,29777	3,04776	46,05238
Fr:368-367	10 x σ	0,94857	5,30124	7,70298	4,35916	3,17186
Fr:367-396	10 x σ	1,39077	9,37381	11,54538	3,69499	10,91810
Fr:396-367	10 x σ	2,03938	8,10564	9,02765	3,34125	11,59675
Fr:367-437	10 x σ	0,04616	1,10050	23,86610	65,05974	-
Fr:437-367	10 x σ	8,61674	10,87514	10,94813	3,02014	68,31347
Fr:368-370	10 x σ	0,28724	2,73296	9,89929	10,86657	-
Fr:370-368	10 x σ	3,07440	10,47476	11,01493	3,15471	24,16550
Fr:368-399	10 x σ	7,29153	11,11386	11,21790	3,02808	59,71631
Fr:399-368	10 x σ	0,09776	1,23258	12,66875	30,83461	-
Fr:369-370	10 x σ	2,02856	7,79553	8,69126	3,34471	10,84582
Fr:370-369	10 x σ	0,93350	7,52733	11,03094	4,39636	6,19338
Fr:370-371	10 x σ	3,26978	8,99989	9,41137	3,13716	20,51530
Fr:371-370	10 x σ	3,69568	10,82854	11,21796	3,10789	29,97221
Fr:370-408	10 x σ	0,76136	6,88374	11,36367	4,95240	4,88127
Fr:408-370	10 x σ	2,95849	10,68632	11,28027	3,16674	24,00383
Fr:371-372	10 x σ	2,27266	8,26239	9,02688	3,27758	13,06617
Fr:372-371	10 x σ	2,36058	10,10757	10,97711	3,25809	18,22137
Fr:371-374	10 x σ	2,49283	8,39381	9,04401	3,23238	14,48738

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Fr:374-371	10 x σ	2,09882	9,92609	10,99518	3,32312	16,10230
Fr:372-374	10 x σ	1,52254	7,88789	9,43711	3,58921	8,90364
Fr:374-372	10 x σ	0,21818	1,68970	7,92667	14,07351	–
Fr:373-374	10 x σ	2,25134	9,03387	9,88495	3,28263	14,86405
Fr:374-375	10 x σ	2,54279	9,95740	10,69974	3,22365	19,01012
Fr:375-374	10 x σ	1,16001	6,72000	8,87231	3,96086	5,69733
Fr:374-433	10 x σ	0,49810	3,89276	8,73105	6,72869	0,99737
Fr:433-374	10 x σ	0,44632	5,16246	12,66639	7,36068	2,36807
Fr:375-376	10 x σ	2,07215	10,35007	11,49228	3,33107	16,91121
Fr:376-375	10 x σ	2,43885	8,29658	8,96692	3,24239	13,96127
Fr:375-382	10 x σ	1,35772	9,60678	11,93129	3,72590	11,14059
Fr:382-375	10 x σ	2,09801	7,46625	8,27100	3,32335	10,38023
Fr:376-377	10 x σ	9,45451	10,90879	10,96964	3,01673	75,19081
Fr:377-376	10 x σ	0,05678	0,71820	12,67022	52,92487	–
Fr:377-378	10 x σ	2,89770	8,53862	9,03278	3,17362	16,97806
Fr:378-377	10 x σ	1,97309	9,87755	11,07372	3,36330	15,21338
Fr:377-383	10 x σ	1,18056	7,95329	10,42308	3,93161	7,66356
Fr:383-377	10 x σ	2,06989	7,27645	8,08114	3,33176	9,83066
Fr:378-379	10 x σ	2,33137	9,98924	10,86939	3,26433	17,73018
Fr:379-378	10 x σ	1,68306	8,27950	9,63066	3,48958	10,33582
Fr:379-380	10 x σ	0,76003	6,60877	10,92183	4,95788	4,53276
Fr:380-379	10 x σ	1,22891	8,52477	10,99053	3,86774	8,75325
Fr:379-385	10 x σ	1,54520	9,56076	11,38824	3,57343	12,07540
Fr:385-379	10 x σ	2,17511	8,55665	9,41764	3,30187	13,30245
Fr:380-396	10 x σ	6,09659	11,01944	11,16670	3,04009	49,54462
Fr:396-380	10 x σ	0,16450	0,92822	5,71869	18,48271	–
Fr:381-382	10 x σ	0,96924	7,77203	11,16708	4,31049	6,64568
Fr:382-381	10 x σ	1,52290	7,63938	9,13912	3,58895	8,45237
Fr:382-383	10 x σ	1,51955	9,33283	11,17246	3,59134	11,51990
Fr:383-382	10 x σ	1,14552	8,82421	11,71352	3,98229	8,85627
Fr:382-384	10 x σ	2,06857	10,02756	11,13781	3,33216	16,14655
Fr:384-382	10 x σ	1,44606	8,81127	10,71293	3,64746	10,21707
Fr:382-386	10 x σ	1,61023	9,83996	11,58310	3,53145	12,96499
Fr:386-382	10 x σ	1,49739	9,96724	11,98556	3,60749	12,54523
Fr:382-398	10 x σ	1,01848	6,23817	8,74242	4,20432	4,62199
Fr:398-382	10 x σ	0,86834	7,86923	12,00217	4,57561	6,44876
Fr:383-384	10 x σ	4,15320	10,76561	11,07328	3,08574	33,17387
Fr:384-383	10 x σ	0,13542	1,99930	14,89888	22,35612	–
Fr:383-385	10 x σ	0,13743	1,36970	10,06055	22,03530	–
Fr:385-383	10 x σ	2,59051	10,35205	11,09659	3,21576	20,41535
Fr:386-387	10 x σ	1,94215	10,22712	11,50320	3,37432	15,78746
Fr:387-386	10 x σ	0,31575	1,36081	4,51955	9,96371	–
Fr:387-402	10 x σ	0,82990	7,96107	12,46594	4,69759	6,44699
Fr:402-387	10 x σ	1,69899	7,87822	9,14157	3,48108	9,61709
Fr:388-389	10 x σ	0,76055	7,50759	12,40187	4,95574	5,66314
Fr:389-388	10 x σ	1,24994	8,28222	10,60660	3,84194	8,45544
Fr:388-414	10 x σ	0,85588	8,30565	12,77322	4,61369	6,98360
Fr:414-388	10 x σ	1,88582	7,88140	8,92093	3,39569	10,41958
Fr:389-391	10 x σ	0,19753	1,76474	9,10669	15,48110	–
Fr:391-389	10 x σ	0,74850	9,39185	15,67323	5,00644	7,98405

Medida	EG	II	RN	ENC	TV	FI
Fr:390-391	10 x σ	0,93033	6,24021	9,16140	4,40437	4,42560
Fr:391-390	10 x σ	1,14703	6,94339	9,21162	3,98002	6,00079
Fr:398-391	10 x σ	9,12665	10,99976	11,06559	3,01795	73,44798
Fr:392-393	10 x σ	1,94154	8,68465	9,76891	3,37454	12,41491
Fr:393-392	10 x σ	1,25346	7,57212	9,68661	3,83774	7,33133
Fr:393-396	10 x σ	0,85320	6,56000	10,10695	4,62208	4,67967
Fr:396-393	10 x σ	1,19568	7,15564	9,32837	3,91091	6,47754
Fr:394-396	10 x σ	1,73223	7,96612	9,19825	3,46401	9,93303
Fr:396-394	10 x σ	0,91116	7,58422	11,26073	4,45427	6,20178
Fr:395-396	10 x σ	1,78965	7,58913	8,69352	3,43657	9,40809
Fr:396-395	10 x σ	0,69058	5,47206	9,62967	5,27937	3,00424
Fr:396-437	10 x σ	2,12364	7,94896	8,78616	3,31597	11,61670
Fr:437-396	10 x σ	1,98196	10,41298	11,66335	3,36023	16,45640
Fr:397-398	10 x σ	1,05982	7,55858	10,39215	4,12464	6,64243
Fr:398-397	10 x σ	1,76082	8,45123	9,71902	3,45004	11,03855
Fr:399-402	10 x σ	1,92969	10,00748	11,27142	3,37890	15,23010
Fr:402-399	10 x σ	2,31478	8,31729	9,06023	3,26798	13,40778
Fr:399-414	10 x σ	2,49528	8,46044	9,11455	3,23194	14,67876
Fr:414-399	10 x σ	0,68012	5,15521	9,16684	5,33452	2,60642
Fr:407-408	10 x σ	1,94962	7,84004	8,81120	3,37162	10,60509
Fr:408-407	10 x σ	0,66335	5,53172	10,00697	5,42705	3,03810
Fr:408-414	10 x σ	2,28128	10,54351	11,51200	3,27557	18,78962
Fr:414-408	10 x σ	1,67305	7,30271	8,50776	3,49504	8,38654
Fr:430-431	10 x σ	1,70505	10,13998	11,75526	3,47790	14,11334
Fr:431-430	10 x σ	1,24127	6,05964	7,78146	3,85244	4,87700
Fr:430-432	10 x σ	0,13360	1,31648	9,94127	22,65416	–
Fr:432-430	10 x σ	8,20485	10,90396	10,98465	3,02220	65,33070
Fr:430-433	10 x σ	3,88856	8,88148	9,17046	3,09761	23,61460
Fr:433-430	10 x σ	6,97674	11,07970	11,19293	3,03066	56,94607
Fr:431-432	10 x σ	3,76044	8,58936	8,88788	3,10426	21,74895
Fr:432-431	10 x σ	5,01902	11,13998	11,35894	3,05897	41,65774
Fr:432-433	10 x σ	0,40501	3,69661	9,84743	7,99173	0,75157
Fr:433-432	10 x σ	4,84431	10,88848	11,11805	3,06325	39,01990
V:343	10 x σ	22,90313	9,092724	9,101387	3,002858	139,67540

No próximo capítulo serão apresentadas as conclusões deste trabalho, e as perspectivas futuras.

Capítulo 5

Conclusões

A literatura de Estimação de Estado (EE) estabelece que de uma maneira geral, quando num conjunto de medidas de um sistema elétrico de potência uma das medidas possui Erro Grosseiro (EG), então o maior Resíduo Normalizado (RN) estaria na medida errônea, isso quando a medida não é crítica (ABUR e EXPPÓSITO, 2004). Porém, como mostrado em exemplos no capítulo 2 deste trabalho e em muitas outras referências, existem muitas situações em que o teste do maior RN falha, mesmo na ocorrência de EG simples em medida redundante.

A não exatidão das metodologias clássicas de EE para processamento de EG, seguindo o pressuposto que a medida com o maior RN seria a medida que contém o EG, é demonstrado em Bretas et al. (2009). Bretas tem mostrado em muitas de suas publicações utilizando propriedades topológicas, e através da interpretação geométrica, que o erro de medida se divide em duas componentes: a *detectável* e a *não-detectável*. Bretas mostra também que as metodologias clássicas para processamento de EGs, consideram apenas a componente *detectável* do erro nos processamentos de erro grosseiro. Assim, dependendo da amplitude das componentes do erro, essas metodologias podem falhar, tendo em vista que em muitas situações a componente *não-detectável* é muito maior que a *detectável*.

Este trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento de um estimador de estado, baseado no método dos mínimos quadrados ponderados, robusto e eficiente para o processamento de EG; neste contexto o estimador proposto considera as duas componentes do erro de medidas (componente *detectável* e *não-detectável*). Uma vez calculado as componentes do erro compõe-se o erro da medida. A composição é feita normalizando primeiramente o resíduo e

então compondo o erro total da medida, e chamado nesse trabalho de Erro Normalizado Composto (*ENC*).

O estimador proposto realiza também as funções tradicionais de processamento de EG simples de forma correta, ou seja, realiza a detecção, a identificação e a correção da medida portadora do EG independentemente dos valores das componentes do erro.

A proposição deste trabalho mencionada acima, foi alcançada decompondo o erro da medida em duas componentes: a componente *detectável*, que é ortogonal ao espaço da imagem da matriz jacobiana do estimador WLS, cuja amplitude é igual ao resíduo da medida (BRETAS et al., 2009); e a componente *não-detectável*, que pertence ao espaço da imagem da matriz jacobiana do estimador WLS e que, por conseguinte, não contribui para o resíduo da medida.

A relação entre a norma das componentes *detectáveis* e *não-detectáveis* do erro de medida, é denominada no capítulo 3 como Índice de Inovação (*I*), este índice prevê uma nova informação, isto é, informação não contida nas outras as medidas. Além disso, com base no *I*, é desenvolvida uma técnica computacional para calcular o erro da medida, o qual não se reflete no seu resíduo, denominado “erro mascarado”.

Nesta pesquisa mostra-se que nas metodologias clássicas, todas as medidas são tratadas como se tivessem as mesmas características quando se refere ao comportamento dos EGs, então a busca pelo EG é feita através de hiper-esferas no espaço dos resíduos. No entanto os resíduos das medidas são correlacionados e, por conseguinte a busca pelo EG deve ser feita através de hiper-elipsóides neste mesmo espaço. Essa demonstração é descrita no capítulo 3 através da análise gráfica da distribuição normal bi-variável, onde as variáveis desta distribuição possuem correlação.

Assim usando o *I*, calcula-se as intersecções das hiper-elipsóides nas diferentes direções das medidas, e nesse trabalho denominadas como sendo o valor limiar (*TV*) de cada medida de maneira a ser considerada como suspeita de ter erro grosseiro; isto é, se o valor do *ENC* da *i*-ésima medida for maior ou igual ao seu *TV* correspondente, então essa medida será suspeita de possuir EG.

Outro resultado importante, observado nos testes realizados neste trabalho, é que os EGs adicionados nas medidas, aparecem no *ENC*, com amplitude muito próxima do erro adicionado. Entretanto, uma medida que não contém EG, e é

redundante a uma medida que contém o erro, pode ter o *ENC* com valores elevados até superiores àqueles da medida com erro grosseiro. Para resolver este problema, tendo as medidas suspeitas em mãos, criou-se um índice de filtragem (*FI*), que é utilizado para identificar dentre as medidas suspeitas, qual delas tem maior probabilidade de possuir EG. Assim, com os valores dos *FIs* das medidas suspeitas, é possível identificar qual é a medida que contém o EG. Ou seja, entre duas ou mais medidas redundantes, a medida com maior *FI* terá maior chance de ser a medida portadora do EG.

Nesta pesquisa desenvolveu-se um programa computacional para processamento de EG, em que tanto a componente detectável do erro de medida quanto a não-detectável são consideradas. Usando o Índice de Inovação compõe-se o erro da medida, e então o processamento de erro grosseiro de medida é realizado. O algoritmo correspondente é apresentado na subseção 3.4.1 do capítulo 3, e para mostrar a eficiência da metodologia proposta para o processamento de EGs simples, foram realizados testes com sistema de 14 e 30 barras do IEEE, além de testes com sistema sul reduzido do Brasil de 45 barras, onde os resultados obtidos mostram-se absolutamente satisfatórios.

5.1 Conclusões dos testes realizados

5.1.1 Teste de Nível de Detecção Mínimo

Esse teste consiste em encontrar qual o valor mínimo para que o EG seja detectado, ou seja, encontra as intersecções das hiper-elipsóides nas diferentes direções das medidas. Nesse teste verificou-se que as medidas com *II* maior que um, ou seja, medidas com muita informação, tinham seus EGs detectados com valores muito próximos de 3 desvios padrões, porém as medidas com *II* menor que um (medidas com pouca informação) possuem certa inércia para detectar o EG.

5.1.2 Teste onde se adiciona EG de 10 desvios padrões na medida

Nesse teste é adicionado EG de 10 desvios padrão nas medidas, uma por vez, o objetivo deste teste é de verificar o comportamento da medida, em relação ao $//$ e em relação à amplitude do EG adicionado na medida. Neste contexto, verificou-se que todo EG adicionado na medida aparecia no *ENC* com amplitude muito próxima do valor do erro adicionado, mas o *RN* nem sempre tinha sua amplitude próxima do valor do erro adicionado. As medidas onde a amplitude do *RN* é significativamente diferente do valor do EG adicionado, são as medidas com $//$ menor que um, ou seja, nas medidas com pouca informação, ou em outras palavras, nas medidas em que a componente *não detectável* era grande quando comparada com a componente *detectável* do erro de medida.

5.1.3 Teste de EG simples

Esse teste mostrou que o EG de medida é detectado e identificado em qualquer medida, seja ela com bom ou “ruim” $//$, porém para isso deve-se respeitar o nível de detecção mínimo de EG da medida, ou seja, para que o EG seja detectado em uma medida, a amplitude do erro deve ser suficiente para que o *ENC* saia da hiper-elipsóide correspondente.

Uma observação importante obtida em relação aos testes realizados neste trabalho, é que quanto maior o nível de redundância global (NRG) dos SEP, melhores são os resultados obtidos, assim para garantir bons resultados, deve-se garantir que o sistema analisado, tenha um NRG mínimo normalmente maior que dois. Porém deve-se levar em consideração a relação entre o custo e o benefício, pois quanto maior o NRG dos SEP maior o custo.

5.2 Publicações do autor durante o Doutorado

5.2.1 Artigos publicados provenientes da Tese

London Jr., J.B.A.; Benedito, R.A.S.; Piereti, S.A.R.; Delbem A.C.B.; Alberto, L.F.C.; Bretas, N.G. (2008). Estimação de Estado em Sistemas Elétricos de Potência: Medidas que Escondem Erro e Configurador de Redes. Em: X EDAO – Encontro para Debates de Assuntos de Operação, São Paulo.

Bretas, N. G.; Piereti, S. A. R. (2010). The innovation concept in bad data analysis using the composed measurements errors for power system state estimation. IEEE Power and Energy Society General Meeting, Minneapolis, Julho (DOI:10.1109/PES.2010.5589569).

Bretas, N. G.; Bretas, A. S.; Piereti, S.A.R. (2011). The Innovation Concept for Measurement Gross Error Detection and Identification in Power System State Estimation. IET – Generation, Transmission & Distribution. Junho (DOI:10.1049/IET-gtd.2010.0459).

Bretas, N. G.; Bretas, A. S.; Piereti, S.A.R. (2011). Masked Errors in Power Systems State Estimation and Measurement Gross Errors detection and Identification. IEEE Power and Energy Society Power Tech 2011, Trondheim, Junho.

5.2.2 Artigos publicados referentes à EE em SEP

Piereti, S.A.R.; London Jr., J. B. A.; Delbem, A. C. B.; Bretas, N. G. (2008). Configurador de Redes Baseado na Representação Nó Profundidade Para Efeito de Estimação. XII CBA - Congresso Brasileiro de Automática, Juiz de Fora, Setembro.

Vigliassi, M. P.; Piereti, S.A.R.; London Jr., J. B. A.; Delbem, A. C. B. Bretas, N. G. (2008). Projeto de Sistemas de Medição Confiáveis Para Efeito de Estimação de Estado Via Algoritmos Evolutivos e Matriz H_{Δ}^t . XII CBA - Congresso Brasileiro de Automática, Juiz de Fora, Setembro.

London Jr., J.B.A.; Piereti, S.A.R.; Benetido, R.A.S.; Bretas, N.G. (2009). Redundancy and Observability Analysis of Conventional and PMU Measurements. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 24, No. 3, p. 1629-1630, Agosto. (DOI:10.1109/TPWRS.2009.2021195).

Piereti, S.A.R.; de Lima, T. W.; Delbem, A. C. B.; London Jr., J. B. A.; Bretas, N. G. (2009). Avaliação do Desempenho Computacional do Configurador de Redes Baseado na Representação Nó Profundidade. XI SEPOPE – Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica, Belém, Março.

Piereti, S.A.R.; London Jr., J. B. A.; Delbem, A. C. B.; Bretas, N. G. (2010). Configurador de Redes Baseado na Representação Nó Profundidade Para Efeito de Estimação: Simulação com Sistemas de 6 e 14 Barras do IEEE. CONCISTEC - Congresso Científico da Semana de Tecnologia, Bragança Paulista, Outubro.

5.3 Trabalhos futuros

Pretende-se, agora, usando os estudos deste trabalho, aprimorar o algoritmo de processamento de EG simples, e estender os estudos dessa nova metodologia para o processamento de EG múltiplos em medidas redundantes além de erros de parâmetros.

Referências Bibliográficas

ABUR, A. & EXPÓSITO, A.G. (2004). Power system state estimation: theory and implementation. *Marcel & Dekker Publishers*, Nova York, EUA.

ABUR, A.; MAGNAGO, H. (1999). Optimal meter placement for maintaining observability during single branch outages. *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol.14, N° 4, p.1273-1278, novembro.

ALSAÇ, O.; VEMPATI, N.; STOTT, B.; MONTICELLI, A. (1998). Generalized State Estimation. *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol.13, No. 3, p.1069-1075,

ANTÔNIO, A.B.; TORREÃO, J.R.A.; COUTTO FILHO, M. B. D. (2001). Meter placement for power systems state estimation using simulated annealing, *Proceedings of IEEE Porto Power Tech Conference*. Porto, Portugal, setembro 2001.

ASADA, E. N. (2004). Análise de observabilidade e processamento de erros grosseiros conformativos utilizando a metaheurística busca tabu na estimação de estado generalizada, Tese (Doutorado em engenharia elétrica), *Universidade Estadual de Campinas*, Campinas, junho.

BERTRAN, M.; CORBELLÀ, X. (1982). On the validations and analysis of a new method for power network connectivity determination, *IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems*, v. -PAS: 101, n. 2, p. 316, fevereiro.

BENEDITO, R.A.S. (2011). “Índice de não-detecção de erros grosseiros no processo de estimação de estado em sistemas elétricos de potência”. *Tese de Doutorado*, Departamento de Engenharia Elétrica, da EESC-USP-SÃO CARLOS, Junho.

BOSE, A.; CLEMENTES, (1987). A. Real-time modeling of power networks. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, v.75, n. 12, p. 1607, dezembro.

BRETAS, N.G. (1996). Network Observability: A theory based on triangular factorization and path graph concepts - part I. *International conference on Automatic Control*, cidade do Porto, Portugal, Setembro.

BRETAS, N.G.; LONDON Jr., J.B.A.; ALBERTO, L.F.C.; BENEDITO, R.A.S. (2009). "Geometrical Approaches for Gross Errors Analysis in Power System State Estimation". *PowerTech09, Bucharest*, Junho.

BRETAS, N.G.; LONDON Jr., J.B.A.; ALBERTO, L.F.C.; BENEDITO, R.A.S. (2009). "Geometrical Approaches on Masked Gross Errors for Power System State Estimation". *PESGM09, Calgary, USA*, julho.

BRETAS, N.G.; PIERETI, S. A. R. (2010). "The Innovation Concept in Bad Data Analysis Using the Composed Measurements Errors for Power System State Estimation". *PESGM10, Minneapolis, USA*, julho.

CASTILLO, E.; CONEJO, A. J.; PRUNEDA, R. E.; SOLARES, C. (2005). State estimation observability based on the null space of the measurement Jacobian matrix, *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 20, n. 3, p. 1656, agosto.

CASTILLO, E.; CONEJO A. J.; PRUNEDA R. E. and SOLARES C. (2006). Observability Analysis in State Estimation: A Unified Numerical Approach. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*, VOL. 21, NO. 2, p.877-887, Maio.

CELIK, M.K; ABUR, A.; "A robust WLAV state estimator using transformation", (1992). *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 7, n°1, pp.106-113.

CHENIAE, M.G.; MILI, L.; ROUSSEUW, P.J.(1996). Identification of multiple interacting bad data via power system decomposition. *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol.11, N° 3, p. 1555-1563, agosto.

CLEMENTS, K. A.; KRUMPHOLZ, G. R.; DAVIS, P. W. (1981). Power system state estimation residual analysis: an algorithm using network topology. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol.-PAS 100, N°4, p.1779- 1787, Abril.

CLEMENTS, K.A.; KRUMPHOLZ, G.R.; DAVIS, P.W. (1982). State estimation measurement system reliability evaluation – an efficient algorithm based on topology observability theory. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-101, N°4, p.997- 1004, Abril.

CLEMENTS, K.A.; KRUMPHOLZ, G.R.; DAVIS, P.W. (1983). Power system state estimation with measurement deficiency: an observability/measurement placement algorithm”. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol PAS-102, N°7, p.2012- 2020, Julho.

CONTAXIS, G.C.; KORRES, G.N. (1988). A reduced model for power system observability analysis and restoration. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 3, N°4, p. 1411-1417, Novembro.

COUTTO FILHO, M.B.D.; LEITE da SILVA, A.M.; FALCÃO, D.M. (1990). Bibliography on power system state estimation (1968-1989). *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 5, N°3, p. 950-961, Agosto.

Dados dos sistemas simulados: www.ee.washington.edu/research/pstca/

DYLIACCO, T.E.; RAMARO, K.A.; WEINER, A.W. (1973). Network status analysis for real-time systems, *8th PICA Conference Proceedings*, p. 356, Julho 1973.

FALCÃO, D.M.; e ARIAS, M. (1994). State Estimation and Observability Analysis Based on Echelon Forms of the Linearized Measurement Models”, *IEEE Trans. On Power Systems*, Vol. 9(2), pp. 979-987, Maio.

FETZER, E. E.; ANDERSON, P. M. (1975). Observability in the state estimation of power systems, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, v. PAS-94, p. 1981, Novembro / Dezembro.

GODERYA, F., METWALLY, A.A. & MANSOUR, O. (1980). Fast detection and identification of islands in power networks, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, v. PAS-99, n. 1, p. 217, Janeiro / Fevereiro.

GOU, B. e ABUR A. (2000). A direct numerical method for observability analysis. *IEEE Trans. Power Systems*, VOL. 15, NO. 2, p.625-630, Maio.

GOU, B. e ABUR A. (2001). An Improved Measurement Placement Algorithm for Network Observability. *IEEE Trans. Power Systems*, VOL. 16, NO. 4, p.819-824, Novembro.

GOU, B. (2005). Observability analysis by measurement jacobian matrix for state estimation, *In Proceedings ISCAS Conference*. p. 3881.

GOU, B. (2006). Jacobian Matrix-Based Observability Analysis for State Estimation. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*, VOL. 21, NO. 1, p.348-356, Fevereiro.

HANDSCHIN, E.; SCHWEPPE, F.C.; KOHLAS, J.; FIECHTER, A. (1975). Bad data analysis for power systems state estimation. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-94, N°2, p. 329-337, Março / Abril.

KORRES, G.N.; CONTAXIS, G.C. (1994). A tool for the evaluation and selection of state estimator measurement schemes. *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol. 9, N°2, p.1110-1116, Maio.

KRUMPHOLZ, G.R.; CLEMENTS, K.A.; DAVIS, P.W. (1980). Power system observability: a practical algorithm using network topology. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-99, N°4, p. 1534- 1542, Julho – Agosto.

IRVING, M.R.; OWEN, R.C. & STERLING, M.J.H. (1978). Power system state estimation using linear program. *Proc. Inst. Electr. Eng.*, Vol. 125, pp. 879-885.

LONDON Jr. et al., (2005). A topological approach to the identification of critical measurements in power system state estimation, *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, – part I, v. 1, no. 1, p.139.

LONDON Jr., J.B.A. ; ALBERTO, L.F.C. & BRETAS, N.G. (2007). Analysis of Measurement Set Qualitative Characteristics for State Estimation Purposes. *IET Generation, Transmission & Distribution (formerly IEE Proceedings. Generation, Transmission & Distribution)*, Vol.1, p. 39-45, Janeiro.

LONDON Jr., J.B.A.; BENEDITO, R.A.S.; PIERETI, S.A.R.; DELBEM, A.C.B.; ALBERTO, L.F.C.; BRETAS, N.G (2008). “Estimação de Estado em Sistemas Elétricos de Potência: Medidas que Escondem Erro e Configurador de Redes”. *X EDAO – Encontro para debates de assuntos de operação*.

LONDON Jr., J.B.A.; BRITO, G.L.R.; BRETAS, N.G. (2003). Method for meter and RTU placement for state estimation purposes. In *Proc. IEEE Bologna Power Tech. Conf.*, Bologna, Italy, Junho.

MILI, L.; CHENIAE, M.; VICHARE, N.; ROUSSEUW, P. (1996). Robust state estimation based on projection statistics. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 11, N°2, p. 1118-112.

MILI, L.; PHANIRAJ, V.; ROUSSEUW, P.J. (1991). Least Median of Squares Estimation in Power Systems. *IEEE Transactions on Power Systems*. Vol. 6, No. 2, p. 511-523, Maio. (DOI: 10.1109/59.76693).

MILI, L.; VAN CUTSEM, Th.; RIBBENS-PAVELLA, M. (1984). Hypothesis testing identification: A new method for bad data analysis in power system state estimation. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-103, N°11, p. 3239-3252, Novembro.

MONTICELLI, A. (1999). State Estimation in Electric Power Systems: A Generalized Approach. *Kluwer Academic Publishers*, Massachusetts, USA.

MONTICELLI, A. (2000). Electric Power System State Estimation. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 88, Nº 2, Fevereiro.

MONTICELLI, A. (1983). “Fluxo de Carga em Redes de Energia Elétrica”, *São Paulo - Brasil: Edgard Blucher*.

MONTICELLI, A.; GARCIA, A. (1991). Modeling Zero Impedance Branches in Power System State Estimation. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 6, No. 4, p. 1561-1570, Novembro. (DOI: 10.1109/59.117003).

MONTICELLI, A.; WU, F.F. (1985a). Network observability: Identification of observable islands and measurement placement. *IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-104, Nº5, p. 1035-1041, Maio.

MONTICELLI, A.; WU, F.F. (1985b). Network observability: Theory. *IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-104, Nº5, p. 1042-1048, Maio.

PRAIS, M.; BOSE, A. (1988). A Topology processor that tracks network modifications over time, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, v. 3, n. 3, p. 992, Agosto 1988.

PIERETI, S.A.R. (2007). “Configurador de redes baseado na representação nó profundidade para efeito de estimação de estado”. *Dissertação de Mestrado*, Departamento de Engenharia Elétrica, da EESC-USP-SÃO CARLOS, Agosto.

QUINTANA, V.H.; SIMÕES-COSTA, A.; MANDEL, A. (1982a). Power system topological observability using a direct graph-theoretic approach. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-101, Nº3, p. 617- 626, Março.

SASSON, A. M.; EHNNANN, S. T.; LYNCH, P.; VAN SLYCK, L. S. (1973) Automatic power system network topology determination, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, v. PAS-92, n. 1, p. 610, Março / Abril.

SCHWEPPE, F. C.; WILDES, J. and ROM, D. (1968). Power system static state estimation, *Power Syst. Eng. Group*, M.I.T. Rep. 10, Novembro.

SCHWEPPE, F.C (1970). Power system static-state estimation, part III: Implementation. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-89,Nº 1, p. 130-135, Janeiro.

SCHWEPPE, F.C.; DOUGLAS, B.R. (1970). Power system static-state estimation, part II: Approximate model. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-89,Nº1, p. 125-130, Janeiro.

SCHWEPPE, F.C.; WILDES, J. (1970). Power system static-state estimation, part I: Exact model. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-89,Nº1, p. 120-125, Janeiro.

SIMÕES-COSTA, A.; SALGADO, R. (2002). Análise Estática de Segurança de Sistemas Elétricos de Potência. *Notas de aula UFSC*, Setembro.

SLUTSKER, I.W. (1989). Bad data identification in power system state estimation based on measurement compensation and linear residual calculation. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 4, Nº1, p. 53-60, Fevereiro.

WU, F. Power system state estimation a survey, *Electrical Power and Energy Systems*, vl. 12, n. 2, p. 80, 1990.

YEHSAKUL, D. P.; DABBAGHCHI, I. (1995). A topology-based algorithm for tracking network connectivity, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, v. 10, n. 1, p. 339, Fevereiro.